

Jarno Korhonen

Energiatehokkaan pientalon rakenneratkaisuja

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Kevät 2010



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala	Koulutusohjelma
Tekniikka ja liikenne	Rakennustekniikka
Tekijä(t) Jarno Korhonen	
Työn nimi Energiatehokkaan pientalon rakenneratkaisuja	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Matti Tiainen
	Toimeksiantaja Valtimon Rakennuspalvelu Oy
Aika Kevät 2010	Sivumäärä ja liitteet 46
<p>1.1.2010 voimaan astuneiden uusien lämmöneristysmääräysten myötä rakennusten energiatehokkuus tulee parantumaan aloitettavissa uudiskohteissa. Lämmöneristeen määrä ala- ja yläpohjassa sekä rungos- sa kasvaa ja myös vaipan tiiviyyteen kiinnitetään aikaisempaa enemmän huomiota.</p> <p>Nykyään markkinoilla on energiatehokkuudestaan tunnettuja matalaenergia- ja passiivitaloja, joiden energiankulutus on huomattavasti alhaisempi verrattuna nykyisten määräyksien mukaiseen normitaloon.</p> <p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää, mitä tarkoitetaan normi-, matalaenergia- ja passiivita- loilla, sekä tutkia miten talotyyppien mukaisiin ohjearvoihin ja vaatimuksiin päästään U-arvojen osalta eri rakenneratkaisuja ja eristemateriaaleja käyttäen. Työssä tarkasteltiin puurunkoisen pientalon erilaisia rakenneratkaisuja ja vertailtiin myös eri eristemateriaaleja, koska lämmönjohtavuudella on suora vaiku- tus eristevahvuuteen ja sitä kautta myös rakenneosien kokonaispaksuuteen. Lisäksi työssä tarkasteltiin myös eri rakenneosien liittymäkohtia, joissa kylmäsiltojen ja ilmavuotojen riski on suurimmillaan.</p> <p>Työssä käsiteltiin myös talotyyppien routasuojauksessa huomioon otettavia asioita. Alapohjasta johtuva lämpövirta auttaa pitämään rakennuksen alla olevan maaperän riittävän lämpimänä. Kiristyneiden eris- tysmääräysten myötä alapohjan eristevahvuus kasvaa ja lämpövirta rakennuksen alle vähenee. Tämä puolestaan kasvattaa routaeristeen määrää ja ulottuvuutta rakennuksen vierustoilla.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat energiatehokkuus, pientalo	
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School	Degree Programme
School of Engineering	Construction Engineering
Author(s) Jarno Korhonen	
Title Energy Efficient House Structural Solutions	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Matti Tiainen
	Commissioned by Valtimon Rakennuspalvelu Oy
Date Spring 2010	Total Number of Pages and Appendices 46
<p>The energy efficiency of new buildings will be better when the regulations of thermal insulation were tightened 1st January 2010. The amount of heat insulating material and the thickness of the structures will increase. The tightened regulations will also have influence on the air tightness of the building.</p> <p>Nowadays there are low-energy and passive houses in the housing market. The energy efficiency of these buildings is much higher compared to traditional house built today.</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study what the traditional, low-energy and passive houses are. The goal of the thesis was to analyze what requirements there are connected with these buildings and how these requirements can be achieved by using different kinds of structures and heat insulating materials. The requirements of the U values connected with structures were also studied in this thesis.</p> <p>The second goal of the thesis was to study the thick insulation layers in the floor and its influence on frost protection. The heat flow through the floor helps to keep the soil warm enough beneath the building. The temperature of the soil gets much lower due to energy efficiency and the risk of frost damages can increase if the thermal insulation round the building is not proper enough. The requirements connected with frost protection are much higher for low-energy and passive houses than for ordinary houses.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	energy efficiency
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TALOTYYPIT	2
2.1 Normitalo 2010	3
2.1.1 Määräykset	3
2.1.2 Muutokset	5
2.2 Matalaenergiatalo	7
2.2.1 Määritelmä	7
2.2.2 Toteutusperiaatteet	9
2.3 Passiivitalo	11
2.3.1 Määritelmä	11
2.3.2 Toteutusperiaatteet	12
3 RAKENTEET JA NIIDEN LÄMMÖNERISTYS	15
3.1 Yleistä lämmönjohtavuudesta	15
3.2 Alapohja	16
3.2.1 Maanvarainen alapohja	16
3.2.2 Tuulettuva alapohja	18
3.3 Ulkoseinä	21
3.3.1 Kantava puurankaseinä	21
3.3.2 I-palkkirunko	23
3.3.3 SPU-eristetty puurankaseinä	25
3.4 Yläpohja	27
3.4.1 Kattoristikkorakenne	27
3.4.2 Kantava palkisto kotelorakenteella	29
3.5 Rakenneosien liittymät	31
3.5.1 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä	31
3.5.2 Ulkoseinän ja yläpohjan liittymä	32
3.5.3 Ulkoseinän nurkkarakenne	33
3.5.4 Ovet ja ikkunat	34
4 PERUSTUSTEN ROUTASUOJAUS	35
5 POHDINTA	40

6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Lämmitysenergian jatkuvasti kohoavat hinnat pakottavat rakentajat etsimään energiatehokkaita ratkaisuja pientalojen lämmöneristykseen. 1.1.2010 tiukentuneiden lämmöneristemääräyksien myötä eristevahvuuden kasvattaminen on tullut ajankohtaiseksi jokaisessa alkavassa uudisrakennuskohteessa. Tämä osaltaan auttaa alentamaan lämmityskustannuksia, kun rakenteiden U-arvot kiristyivät noin 30 % vuoden 2007 määräyksistä. Uudistuneissa määräyksissä myös rakennuksien tiiviyyteen kiinnitetään aikaisempaa enemmän huomiota.

Pientalomarkkinoilla on nykyään normitalojen lisäksi myös energiatehokkaita matalaenergia- ja passiivitaloja, joiden lämmöneristyskyky on aivan omaa luokkaansa verrattuna nykyisten lämmöneristysmääräyksien mukaan rakennettuun kohteeseen. Rakennusten energiankulutus johtumishäviöiden osalta on alle puolet siitä mitä normitalossa.

On selvää, että energiatehokkaiden rakennusten suosio tulee kasvamaan selvästi lähitulevaisuudessa. Insinöörityöni tarkoituksena on tilaajan toivomuksesta selvittää, mitä nämä energiatehokkaan rakentamisen käsitteet tarkoittavat, kuinka näihin tavoitteisiin päästään rakennusteknisesti ja mitä kohteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon.

Energiatehokkaan rakennuksen toteutuksessa rakenneratkaisuilla on suuri merkitys kohteen lämmöneristävyys, vaikka peruseräatteen toteutuksen osalta ovat säilyneet ennallaan. Työni tarkoituksena on tutkia erilaisia eristemateriaaleja puurunkoisessa rakennuksessa ja niiden paksuuksia talon eri rakenneosissa vaadittavien U-arvojen perusteella. Eri eristemateriaalien lämmönjohtavuudessa on eroja, mikä vaikuttaa kerrosvahvuuksiin ja rakenteen kokonaispaksuuteen olennaisesti varsinkin energiatehokkaissa rakennuksissa.

Käsittelen työssäni eri rakenneratkaisujen lisäksi myös rakenteiden liittymäkohtia leikkauskuvien ja periaatepiirroksien avulla, joissa ilmapuotojen ja kylmäsiltojen riski on suurimmillaan. Oikein toteutettuna rakenteista saadaan yhtenäiset ja eristyskyky paranee.

Työni lopussa käsittelen perustusten routasuojauksia. Kiristyneiden lämmöneristysmääräysten vuoksi myös perustuksien routasuojaukseen tulee kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota. Alapohjan lämmöneristys kasvaa ja lämpövirta maahan vähenee, jolloin myös routaeristeen määrää ja ulottuvuutta rakennuksen ympärillä tulee kasvattaa.

2 TALOTYYPIT

Rakennuskannan aiheuttamat päästöt ovat olleet esillä jo pitkään niiden korkeiden arvojen takia. Monet talot ovat rakennusteknisesti vanhentuneita ja kuluttavat paljon lämmitysenergiaa. Suomessa energiantuotannosta menee 34 % talojen lämmitykseen ja niiden tarvitsemaan sähköön. Ostoenegian osuus vähentyy lähiaikoina ja tulevaisuudessa merkittävästi, koska energiantuotantoon käytettävät luonnonvarat ovat uusiutumattomia eivätkä ne riitä loputtomiin. [1.] [2.]

Tehokkain tapa hillitä päästöjä on lämmöneristyksen lisääminen rakenteissa. Vertailuna otettakoon, että perinteinen 2000-luvun alussa rakennettu puurunkoinen omakotitalo, jonka eristekerroksen vahvuus on 150 mm, kuluttaa energiaa 150–200 kWh/brm² vuodessa. Nykyisten rakennusmääräysten mukaan rakennettujen talojen kulutuslukemat ovat 100–120 kWh/brm² vuodessa. Matalaenergiataloissa vastaava lukema on 30–50 kWh/brm² vuodessa ja passiivitalossa vieläkin matalampi 15–25 kWh/brm² vuodessa. Syynä kulutuksen vaihteluihin kohteissa on maantieteellinen sijainti, koska tarvittavan lämmitysenergian määrä vähenee Etelä-Suomeen päin mentäessä. [3.]

On selvää, että matalaenergia- ja passiivitalojen osuus Suomen rakennuskannasta nousee merkittävästi lähitulevaisuudessa. Euroopan komissio onkin asettanut tavoitteeksi, että passiivirakentamisesta tulee standardi uudisrakentamisessa vuoteen 2015 mennessä. [3.]

Energiatehokkaiden rakennusten toteuttaminen ei ole vaikeaa. Se ei vaadi uusia menetelmiä vanhojen tilalle edes passiivitalojen kohdalla. Riittää kun kohteen rakennustekniseen suunnitteluun ja vaipan tiiviyteen kiinnitetään tarpeeksi huomiota ja käytetään tuttuja rakennustarvikkeita niin kuin ennenkin. Lisäksi energiankulutusta voidaan entisestään vähentää käyttämällä hyvän hyötysuhteen omaavaa lämmön talteenottoa sekä hyödyntämällä ilmaisenergiaa, joita ihmiset, sähkölaitteet ja auringon lämpösäteily tuottavat.

Seuraavassa osiossa käsittelen sitä, mitä oikeastaan tarkoitetaan matalaenergia- ja passiivitaloilla. Tutkin myös sitä, mitä muutoksia tiukentuneet lämmöneristysmääräykset velvoittavat tekemään aloitettavissa uudiskohteissa, jos halutaan, että ne täyttävät uudet ohjeet ja määräykset.

2.1 Normitalo 2010

2.1.1 Määräykset

Jos halutaan osoittaa, että nykyinen normitalo 2010 on määräysten mukainen, tulee sen täyttää Suomen rakennusmääräyskokoelman mukaiset vaatimukset, jotka on määriteltä energia-
tehokkuuden ja lämpöhäviöiden osalta seuraavissa osissa:

- C3 Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2010
- C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2010
- D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010
- D3 Rakennuksen energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007

Alla olevasta taulukosta selviävät lämmöneristysten vertailuarvot, jotka tulee ottaa huomioon uudiskohteen suunnittelussa. Yksikkönä käytetään W/m^2K . Vertailuarvoihin on joustoa 30 %, mutta ylitys tulee tasata muilla toimenpiteillä, kuten esimerkiksi parantamalla vaipan tiiviyyttä tai lämmön talteenoton hyötysuhdetta. [4.] [5.]

Taulukko 1. Lämmöneristysten vertailuarvot. [4.]

Normitalo 2010	C3 (2010)
Seinä	0,17
Hirsiseinä ≥ 180 mm	0,4
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Ikkunat, ovet ja kattoikkunat	1

Taulukko 2. Vertailuarvot ikkunapinta-alalle.[4.]

Yhteenlaskettu ikkunapinta-ala:	C3 (2010)
Maanpäällisten kerrosten kerrostasoalojen summasta	15 %
Rakennuksen julkisivupinta-alasta	≤ 50 %

RakMk C3 (2010) mukaan ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala ei saa ylittää 15 % kerroksien kerrostasoalasta. Kerrostasoalalla tarkoitetaan siis sitä pinta-alaa, joka huomioi laskelmissa myös kaikki seinärakenteet ja porrashuoneet eri kerroksissa. Ikkunoiden pinta-ala ei myöskään saa ylittää 50 % talon julkisivujen yhteenlasketusta pinta-alasta. [4.] [5.]

Taulukko 3. Vaipan vuotoilman vertailuarvot. [7.]

Vaipan vuotoilma:	D3 (2010)
Vaipan ilmavuotoluku n	2,0 (1/h)
Vastaava vuotoilmakerroin $n_{\text{vuotoilma}}$	0,08 (1/h)

Rakennuksen energiatehokkuutta käsittelevän osan D3 (2010) mukaan rakennuksen vaipan ilmavuotoluku (n_{50}) ei saa ylittää arvoa 2,0 (1/h). Tällöin laskelmissa tulee käyttää vuotoilmalle ($n_{\text{vuotoilma}}$) kerrointa 0,08 (1/h), mikä vastaa edellä mainittua ilmavuotolukua 2,0. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta painekokeella, niin laskelmissa tulee käyttää arvoja 4,0 (1/h) ja 0,16 (1/h). [6.] [7.]

Rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa käsittelevän D2 (2010) ja energiatehokkuutta käsittelevän D3 (2010) osien mukaan ilmanvaihdon vuotuinen hyötysuhde tulee olla yli 45 %.

Taulukko 4. Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde. [6.] [7.]

Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde:	D2 (2010)	D3 (2010)
Hyötysuhde	45 %	45 %

2.1.2 Muutokset

Nykyään normitalojen energiatehokkuus alkaa olla sitä luokkaa, mitä tarkoitettiin, kun puhuttiin matalaenergiataloista 1990-luvulla. Rakennerratkaisut ovat säilyneet muuttumattomina, mutta rakennustuotteet ovat kehittyneet vastamaan paremmin nykyajan vaatimuksia. Uudisrakentamisessa keskitytään nyt lämmöneristyksen lisäämiseen, vaipan tiiviyn parantamiseen ja ilmanvaihdon tehostamiseen. [8.]

Lämmöneristyksen lisäys tarkoittaa käytännössä eristekerroksen kasvua talon eri osissa, joka on noin 20 % enemmän kuin aikaisempien rakennusmääräyksien mukaan rakennetussa kohteessa. Tämä vaikuttaa rakennuskustannuksiin jonkin verran, mutta kokonaiskustannuksiin verrattuna kasvu on hyvin vähäistä, vain noin 2 %. Paksumpi eristekerros varastoi lämpöä pidempään, joten rakennuskustannukset katetaan hyvin nopeasti takaisin säästöinä sähkölaskussa. [8.]

Kasvavan lämmöneristekerroksen myötä myös rakennuksen vaipan ilmatiiviyteen tulee kiinnittää enemmän huomiota. Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan talon eri rakennusosia, kuten ulkoseiniä, ikkunoihin, sekä ala- ja yläpohjaa. Vaipaksi ei lueta rakennuksessa olevia väliseiniä, jotka erottavat tilat toisistaan. [8.]

Vuotoilmalla on suora merkitys rakennuksen energiankulutukseen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan, koska ilman virtaus rakenteiden läpi lisää lämmityksen tarvetta huomattavasti. Normaalissa pientalossa, joka on rakennettu rakennusmääräysten mukaan, tulee olla hengittävä seinärakenne. Tämä mahdollistaa rakenteissa tapahtuvan luonnollisen konvektion eli ilman virtauksen eristekerroksissa. Konvektio auttaa pitämään rakenteet kuivina, kun lämmintä sisäilmaa johtuu ulospäin. Toisaalta sisätiloissa ilmastoinnin aiheuttama alipaine vähemmän tiiviissä rakenteissa aiheuttaa ilmavirran suunnan muutoksen, joka tarkoittaa ulkoilman johtumista rakenteiden läpi lämpimiin sisätiloihin. Tämä puolestaan huonontaa sisäilman laatua, koska eristekerrosten läpi tullut ilma sisältää paljon epäpuhtauksia. [8.]

Vaipan ilmatiiviyden lisääntyessä lämpö säilyy rakenteissa pidempään ja sitä voidaan kierrättää paremmin ilmanvaihdon avulla, jossa lämpö otetaan talteen poistoilmasta ja siirretään se takaisin tuloilmaan. Tämä vähentää lämmitystehon tarvetta merkittävästi varsinkin kovina pakkaskausina. Rakennuksen ollessa tiiviimpi myös vedon tunne vähenee, koska tuulen vaikutus rakenteisiin pienenee. [8.]

Rakentamismääräyskokoelma C3 (2007) ohjeita noudattaen rakennetun kohteen ilmanläpäisevyydelle on annettu arvo 4,0 (1/h). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakennuksen sisällä oleva ilma vaihtuu rakennuksessa olevien vuotokohtien kautta 4,0 kertaa tunnissa, kun paine-ero sisä- ja ulkopuolen suhteen on 50 Pascalia (Pa). [4.]

Tiukentuneiden energiamääräysten myötä luvun tulee normitalossa olla <2,0 (1/h). Arvon ollessa pienempi kuin 4,0 1/h tulee se todistaa painekoemenetelmällä, jonka standardi SFS-EN 13829 määrittää. Jos painekoetta ei tehdä, ilmanpitävyyden arvon osoittaminen pienemmäksi kuin 4,0 (1/h) edellyttää esimerkiksi talotoimittajalta tyyppihyväksyttyä laadunvarmistusmenetelmää. Paineekoe on kuitenkin verrattain helpompi toteuttaa kohteessa ja mittaustulokset ovat tarkempia. [6.] [7.]

Yleisesti puhekielessä käytetyllä U-arvolla tarkoitetaan lämmönläpäisykerrointa. Se tarkoittaa lämpömäärää, minkä 1 m²:n suuruinen rakennusosa läpäisee yhden tunnin aikana, kun pintojen välinen lämpötilaero on 1°C. Yksikkönä käytetään W/m²K. Pääsääntö on, että mitä pienempi U-arvo, sen parempi on lämmöneristyskyky. [5.]

Energiatohokkuuden merkitys rakentamisessa on kasvanut koko ajan, ja 1.1.2010 uudistuneiden määräyksien myötä on tultu iso askel eteenpäin. Määräyksiä tiukennettaessa myös rakenneseosien paksuudet kasvavat samassa suhteessa. Otetaan esimerkiksi vuoden 2007 rakentamismääräyksien mukaan toteutettu kohde, jonka vaatimus ulkoseinälle oli U-arvon osalta 0,24 W/m²K. Tämä tarkoitti käytännössä 200 mm mineraalivillakerrosta talon rungossa. Yläpohjan U-arvon suhteen vastaava paksuus olisi ollut noin 400 mm villaa. [9.]

Nykyisten määräyksien mukaan tehdyssä normitalossa vastaavat lukemat ovat ulkoseinässä vähintään 300 mm ja yläpohjassa 500 mm. Alapohjassa tarvittiin aikaisemmin EPS-eristettä 100 mm ja nykyään sitä tulee asentaa puolet enemmän. On siis selvää, että talon rakenneosien paksuudet tulevat kasvamaan massiivisemmaksi ja tämä tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

Kun energiatodistusten laatiminen tuli pakolliseksi rakennuslupamenettelyn yhteydessä, on siirrytty rakennuksien luokitteluun niiden energiankulutuksen perusteella. Pientaloissa todistus laaditaan laskennallisesti. Tämä mahdollistaa rakennuksien vertailun energiankulutuksen perusteella. [2.] Käsittelen tätä aihetta tarkemmin matalaenergia- ja passiivitalojen kohdalla.

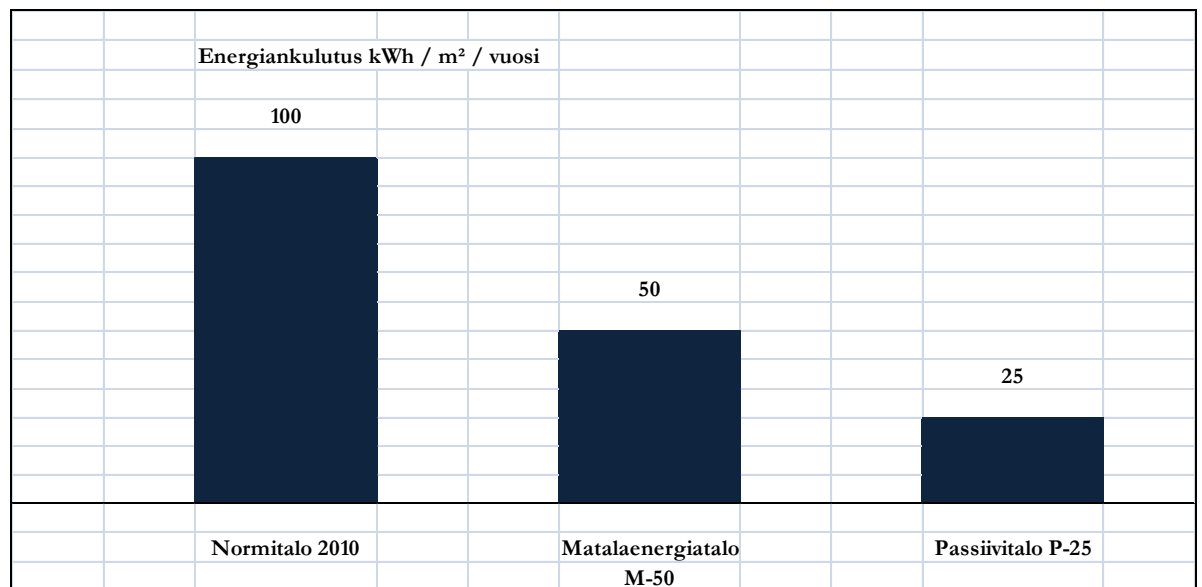
2.2 Matalaenergiatalo

2.2.1 Määritelmä

Matalaenergiataloksi kutsutaan rakennusta, joka kuluttaa korkeintaan puolet siitä ostoenergian määrästä, jota tarvitaan nykyisten rakennusmääräysten mukaan tehdyssä kohteessa. [10.]

Energiatohokkaiden rakennusten määrittelyssä käytetään samoja Suomen rakentamismääräyskokoelman osia kuin normitalon 2010 osaltakin. Määräyksiä on täsmennetty eräissä eurooppalaisissa standardeissa, kuten EN 15603 ja EN 15615. Nämä ohjeet tarkentavat olemassa olevia suomalaisia määräyksiä energiatohokkuuden ja päästöjen osalta. [11.]

Vähän energiaa kuluttavien rakennusten suunnittelussa päälähtökohtana on elinkaariedullisuus. Tämä palvelee rakennuksen käyttäjää alhaisina huolto- ja ylläpitokustannuksina ja sillä on vähemmän rasittava vaikutus ilmastoon, koska päästöt pienenevät puolella. [12.]



Kuva 1. Rakennusten energiankulutus. [12.]

Rakennukset luokitellaan niiden vuotuisen kokonaisenergiankulutuksen perusteella. Kokonaisenergia koostuu lämmitys-, sähkö- ja jäähdytysenergiasta, jota tarvitaan pääasiassa kesällä rakennuksen viilentämiseen. Energiatohokkuusluku (ET) määritellään RakMk D5 mukaisella tavalla, jossa rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla. Pinta-alasta tulee vähentää kylmien tilojen osuus. [12.]

Matalaenergiatalojen luokittelussa käytetään asteikkoa, joka kuvaa rakennuksen tarvitsemaa vuotuista energiamäärää pinta-alaa kohden. Saadakseen luokittelun M-50, rakennus saa kuluttaa tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen energiaa enintään 50 kWh/m² vuodessa. Luokitteluasteikko kattaa välin M-30 – M-50. Mentäessä luokan M-30 alapuolelle, puhutaan passiivitaloista, joiden energiankulutus on vieläkin alhaisempi. Luokan M-50 yläpuolella olevat rakennukset voidaan luokitella normitaloiksi, vaikka ero vuoden 2010 määräyksiin on lähes kaksinkertainen. Vertailuna normitalo käyttää pelkästään lämmitykseen ja jäähdytykseen energiaa vuodessa noin 100 kWh/m². [12.]

Myös alueellinen sijainti vaikuttaa kokonaisenergiankulutukseen joko alentavasti tai korottavasti, jotka otetaan huomioon korjauskertoimien avulla taulukossa 5. [12.]

Taulukko 5. Kokonaisenergiatarpeen korjauskertoimet. [12.]

Energiatehokkuusluokka	Etelä-Suomi	Keski-Suomi (Jyväskylä)	Pohjois-Suomi
Normitalo 2010	0,9	1	1,25
Matalaenergiatalo	0,88	1	1,27
Passiivitalo	0,85	1	1,33

Käytännössä luokkaan M-50 kuuluva matalaenergiarakennus sijoittuu kuvan 2 energiatodistustaskelmassa luokkaan A+, eli se kuluttaa alle 150 kWh/brm² kohden vuodessa. Luokittelu tapahtuu kokonaisprimäärienergian tarpeen mukaan. [12.]

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
- 150	A	M-50 (A+)
151 - 170	B	
171 - 190	C	
191 - 230	D	Normitalo
231 - 270	E	
271 - 320	F	
321 -	G	
Paljon kuluttava		

Kuva 2. Pientalon energiatehokkuusluokittelu. [12.]

2.2.2 Toteutusperiaatteet

Koska matalaenergiatalo on määritelty sen kulutuksen perusteella, tulee kohteen suunniteluun panostaa normitaloa enemmän. Peruslähtökohtana on, että rakenteet sopivat yhteen talotekniikan kanssa. Energian säästössä yksinkertainen on parasta. Tämä tarkoittaa talon suunnittelussa sitä, että mahdollisia porrastuksia ja ulokkeita rakenteissa tulisi välttää. Näin vältetään mahdollisten kylmäsiltojen aiheuttamilta haittavaikutuksilta, koska liittymäkohdat rungossa ja seinissä asettavat haasteita vaipan tiiviydelle ja lämmöneristykselle. [12.]

Matalaenergiataloissa on käytettävä myös energiatehokkaita sähkölaitteita niin kodinkoneissa kuin talotekniikassakin. Lisäksi rakenteiden sisäisiä lämpökuormia tulee hyödyntää tehokkaasti, koska ne ovat ilmaista energiaa. Tällaista energiaa on esimerkiksi auringosta saatava säteilylämpö, joka varastoituu alapohjaan ja seinärakenteisiin. [12.]

Taulukko 6. Matalaenergiatalon ohjeelliset U-arvovaatimukset. [12.]

U-arvot: W/m ² K	C3 (2010)	Matala-energiatalo M-50
Seinä	0,17	0,12
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,08
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,17	0,1
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,12
Ikkunat	1	0,8
Ovet	1	0,6
Vaipan ilmanvuotoluku n	< 2,0	< 0,8
Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde %	> 45	> 70

M-50 luokituksen saamiseksi, talon kaikkia rakennusosia täytyy parantaa, jotta ne täyttävät matalaenergiarakentamisen vaatimukset U-arvojen osalta. Eristevahvuudet kasvavat olennaisesti C3 (2010), taulukko 6:n mukaisista lämmöneristemääräyksistä, sekä vaipan ilmanvuotoluvun perusteella rakennuksesta tulee tehdä puolet tiiviimpi. [12.]

Kyseessä on jo suhteellisen tiivis rakennus, joten ulkovaipassa ei saa olla vuotokohtia. Rakennuksen ulkovaipan kautta johtuu suurin osa talon lämpöhäviöistä. Ulkoseinässä suurin häviön osuus kohdistuu oviin ja ikkunoihin.

Matalaenergiataloissa ikkunoiden U-arvoksi on määritetty $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Normaalien nykyään markkinoilla olevien ikkunoiden U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tämä tarkoittaa sitä, että kohteeseen tulee asentaa energiatehokkaat ikkunat, joissa käytetään lämpölaseja. [13.]

Ovien U-arvovaatimus on $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Suomessa nykyään valmistettavien ovien U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten ainut vaihtoehto on käyttää umpiovia, joita on hankalampi löytää.

Ovien ja ikkunoiden tiivistykseen pitää kiinnittää huomiota ja työ tulee tehdä huolella. Pelkkä polyuretaanivahto ei enää nykyisin takaa määräysten mukaista tiiviyttä, vaan on käytettävä ilmatiiviitä liimamassoja ja noudatettava valmistajan ohjeita. Matalaenergiarakennusten rakennepiirustukset sisältävät yleensä jokaisen läpiviennin osalta tarkat detailikuvat, joita noudattamalla saadaan aikaan vaadittu vaipan ilmatiiviys. [12.]

Ilmanvaihdon osalta vuotuinen hyötysuhde tulee energiatehokkaassa rakennuksessa olla vähintään 70 % ja talotekniikan säädöt sellaisia, että järjestelmä pystyy nopeasti reagoimaan lämpötilan muutoksiin rakennuksessa. Järjestelmän tulee olla sellainen, että se tuottaa lämpöä ilmanvaihdon avulla silloin, kun sitä tarvitaan. [12.]

Lämmöneristysmääräyksiä koskevan osan C3 (2010) mukaan lämpöhäviön ei tulisi ylittää sille asetetun vertailulämpöhäviön arvoa. Esimerkiksi vaipan lämpöhäviön arvon ylittyessä vertailuarvosta enintään 30 %, tulee se tasata samoin toimenpitein kuin normitalossakin.

Liikkumavarat ovat matalaenergiatalossa tosin jo melko pienet, joten on tärkeää, että suunnittelussa ei tehdä kompromisseja eri rakennusosien suhteen, vaan pysytään vertailuarvojen sisällä lämpöhäviöiden, vaipan tiiviiden ja lämmöntalteenoton suhteen.

2.3 Passiivitalo

2.3.1 Määritelmä

Passiivitalon perusmääritelmä on sama, kuin muillakin matalaenergiataloilla eli rakennus luokitellaan energiankulutuksen perusteella. Passiivitalossa energiankulutus on minimoitu erittäin alhaiseksi verrattuna perinteiseen matalaenergiataloon, jonka luokitus on M-50. Tämä osaltaan asettaa tiukempia vaatimuksia kohteelle. [14.]

Suomeen rakennettavien kohteiden tulee täyttää seuraavat kolme kriteeriä, jotta niitä voidaan kutsua virallisesti passiivitaloiksi:

- Lämmitysenergian tarve $20\text{--}30 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa
- Kokonaisprimäärienergian tarve $120\text{--}140 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa
- Ilmanvuotoluku $n_{50} < 0,6 \text{ l/h}$

Passiivitalojen luokitus on välillä P-15 – P-25. Tämä tarkoittaa sitä, että kohde kuluttaa energiaa tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen enintään 25 kWh/m^2 . Normitaloon verrattuna kulutus on huomattavasti pienempi, vain neljäsosa. [12.] [14.]

Alhaisempi luokitus P-15 toteutuu lähinnä Keski-Euroopassa, jossa ilmasto ja olosuhteet ovat edullisemmat lämmityksen suhteen. Suomessa todellinen kulutus on $20\text{--}30 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa. Kulutus riippuu alueellisesta sijainnista, jonka korjauskertoimet ottavat huomioon taulukossa 5 esitetyllä tavalla. [12.]

Kokonaisprimäärienergia ottaa huomioon myös kotitalouden tarvitseman energian lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lisäksi. Primäärienergialle on olemassa kertoimet, jotka määräytyvät sen mukaan, mitä luonnonvaraa on käytetty energian tuotannossa. Uusiutumattomia luonnonvaroja ovat esimerkiksi öljy ja kivihiili ja uusiutuvia tuuli- ja vesivoima. [12.]

Energiatodistuskaskelmassa passiivitalon ET-luku on kokonaisprimäärienergian perusteella $120\text{--}140 \text{ kWh/m}^2$ vuodessa eli rakennus saa luokituksen A++. [12.]

2.3.2 Toteutusperiaatteet

Virallinen Passiivitalo-nimike vaati sertifioinnin. Se on otettava mukaan heti kohteen suunnitteluvaiheessa, mikä toimii samalla myös tehokkaana laadunvarmistajana. Passiivitalojen sertifiointiin valtuutettuja yrityksiä on Euroopassa jo 13 kappaletta ja Suomessa sertifikaatteja myöntää Passiivitalo.fi Oy. [14.] [16.]

Nimikkeen saaminen edellyttää täsmällistä suunnittelua ja tarvittavat laskelmat, joilla osoitetaan rakennuksen energiatehokkuus. Tärkeimmät kohteet, joihin tulee kiinnittää suunnittelussa huomiota, ovat kylmäsiilat, rakennuksen ilmatiiviys sekä talotekniikan valinta ja sen sijoittaminen rakennuksessa. Lisäksi talon sijainti tontilla on myös tärkeää, koska passiivitaloa lämmitetään suurelta osin auringosta saatavalla lämpösäteilyllä. [14.] [16.]

Kohteesta tulee tehdä käytännössä yhtenäinen rakennus, jossa kylmäsiltojen vaikutus lämmöneristävyyteen on otettu huomioon laskelmissa. Tähän päästään yksinkertaistamalla rakennuksen muotoa. Suorat seinät ovat helpompia saada tiiviiksi ja eristää kuin monta nurkkaa käsittävä rakennus. Rakenteita yksinkertaistamalla saadaan myös kustannussäästöjä. Rakenneseosien liittymäkohdista tulee olla tarkat detaljikuvat ja työselosteet, jotta tiedetään kuinka vaadittu lämmöneristys ja ilmatiiviys saavutetaan. Rakennuksen tilavuus on myös huomioitava pinta-alan suhteen, koska hukkatilavuus lisää lämmityksen tarvetta. [15.]

Suurin sallittu ilmanvuotoluku n_{50} vaipalle on 0,6 1/h, eli rakennuksen ilma vaihtuu rakennuksen vaipan läpi enintään 0,6 kertaa tunnissa, paine-eron ollessa sisä- ja ulkopuolen suhteen 50 Pascalia. Tämä tulee todistaa sertifioinnin yhteydessä painekokeella. [14.]

Painekoe suoritetaan ensiksi tiivistämällä rakennuksen ikkunat, ovet sekä ilmanvaihtoventtiilit, jotta ilma ei pääse virtaamaan niiden kautta. Tämän jälkeen rakennukseen kohdistetaan 50 Pascalin yli- ja alipaine oveen asennetulla puhaltimella. Mittaustulos ilmoittaa, kuinka nopeasti sisäilma vaihtuu rakennuksessa. Painekoe on määritelty standardissa SFS-EN 13829. [14.]

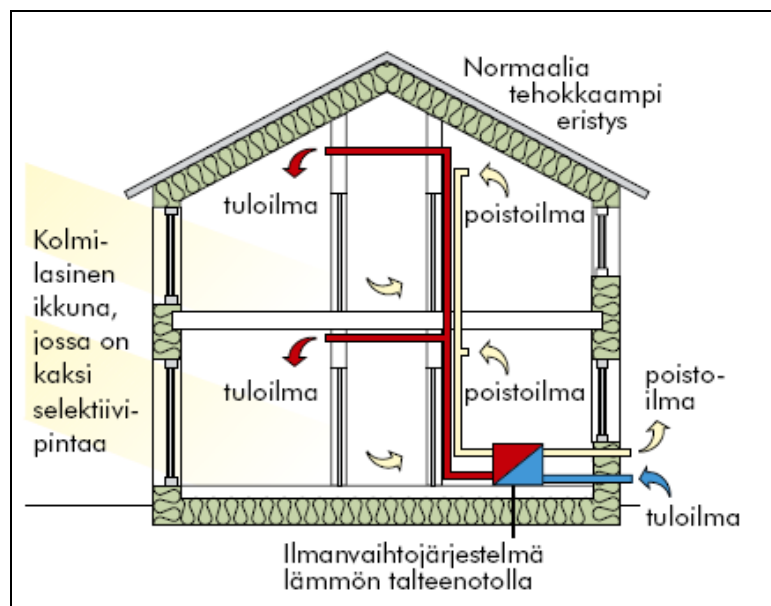
Passiivitalon lämmitysenergian tarve on määritelty minimaaliseksi, joka hyödyntää suurelta osalta talossa jo olevia energianlähteitä. Kodin sähkölaitteista ja valaistuksesta sekä siellä asuvista ihmisistä vapautuu lämpöenergiaa, joka pystytään hyödyntämään hyvin vaipan tiiveyden ansiosta. Auringosta saatava lämpösäteily varastoituu rakennuksen alapohjaan ja rakenteisiin. Liiallinen auringon säteily on kuitenkin otettava huomioon ikkunoiden aurinkosuojuuksissa, jotta yllämpö ei heikennä asumismukavuutta kesäaikaan. [15.]

Passiivitalossa P-25, joka käyttää vuodessa lämmitykseen ja jäähdytykseen 25 kWh/m^2 , on ilmaisenergioista saatava hyöty lähes saman verran eli 25 kWh/m^2 vuoden aikana. On siis tärkeää, että talon sijaintiin ja suuntaukseen auringon suhteen kiinnitetään huomiota. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ikkunapinta-alasta keskitetään suurin osa etelän puolelle. Tällä tavoin auringosta tulevaa lämpösäteilyä pystytään hyödyntämään tehokkaimmin ja sen merkitys korostuu kylminä vuodenaikoina. Auringon lämpöenergiasta saatava hyöty auttaa alentamaan lämmitystehon tarvetta merkittävästi. [16.]

Pohjaratkaisussa tulee ottaa huomioon myös huoneiden sijoittelu, jossa oleskelutilat sijoitetaan lämpimälle puolelle eli etelään ja vähemmän lämpöä tarvitsevat huoneet ja säilytystilat viileämmälle puolelle eli pohjoiseen. [16.]

Koska passiivitalo pystyy hyödyntämään tehokkaasti talossa jo olevia energianlähteitä, rakennukseen riittää pelkkä ilmanvaihtolämmitys, joka korvaa erillisen lämmitysjärjestelmän. Lämmitysjärjestelmä voidaan toki asentaa, mutta energian kulutus saattaa tämän vuoksi ylittää passiivitalolle määritellyn rajan, 25 kWh/m^2 vuodessa. [16.]

Ilmanvaihdon keräämä lämpö tulee kerätä hyvin talteen, jotta lämpöhäviöt ilmanvaihdon osalta eivät nousisi liian suuriksi. Tämä saavutetaan hyvän vuotuisen hyötysuhteen omaavalla lämmöntalteenottojärjestelmällä, joka on esitetty kuvassa 3. Passiivitalossa LTO:n hyötysuhteen vaatimustaso on vähintään 80 %. [16.]



Kuva 3. Ilmanvaihtolämmityksen periaatepiirros. [16.]

Passiivitalon vähäisen energiankulutuksen ja ilmaisenergioiden hyödyntämisen edellytyksenä on, että rakennuksen vaipan lämmöneristys ja ilmatiiviys ovat määräyksien mukaiset. Taulukossa 7 näkyvät U-arvot passiivitalo P-25:n osalta.

Taulukko 7. Passiivitalon ohjeelliset U-arvot. [12.]

U-arvot eri rakennustyypeille, W/m ² K RakMk C3 (2010)	Normitalo	Matalaenergiatalo M-50	Passiivitalo P-25
Seinä	0,17	0,12	0,08-0,10
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,08	0,07
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta)	0,17	0,1	0,08
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,12	0,1
Ikkunat	1	0,8	0,7
Ovet 50	1	0,6	0,5
Vaipan ilmavuotoluku n ₅₀ , 1/h	< 2,0	< 0,8	< 0,6
LTO:n vuosihyötysuhde %	> 45	> 70	> 80
Ilmanvaihdon ominais-sähköteho, kW/m ³ /s	< 2,5	< 2,0	< 1,5

Tiukkojen U-arvojen johdosta rakenneosien paksuuksissa on selvä ero verrattuna muihin rakennustyypeihin, kuten normi- ja matalaenergiataloon M-50. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pelkästään lämmöneristekerroksen paksuus ulkoseinässä passiivitalon osalta on vähintään saman verran kuin nykyisen normitalon seinärakenteen paksuus yhteensä. Normitalossa ulkoseinärakenteen paksuus on toteutuksesta riippuen 350–400 mm. Lämmöneristeen tarve passiivitalossa on 350–500 mm ulkoseinän osalta. Yläpohjassa vastaavat arvot ovat materiaalista riippuen 500–800 mm ja alapohjassa 400–500 mm. [12.]

Tämä antaa kuvan siitä, millaiset vaatimukset passiivitalolla on, jotta päästäisiin haluttuun energiankulutukseen. Rakenteet ovat hyvin massiivisia, mitkä asettavat osaltaan haasteita myös niiden toimivuuden suhteen. Lämmöneristekerroksen kasvattaminen aiheuttaa rakenteiden viilenemistä mentäessä ulospäin ja voi näin ollen aiheuttaa kosteuden tiivistymistä niiden sisään. Lisäksi alapohjan massiivinen lämmöneristys aiheuttaa ongelmia, jos routasuojaukseen ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota.

Tarkastellessani eri talojen rakenneosia ja niiden vaadittuja eristevahvuuksia U-arvojen osalta kiinnitän huomiota näihin yllä mainittuihin haasteisiin, joita matalaenergiarakentaminen osaltaan asettaa.

3 RAKENTEET JA NIIDEN LÄMMÖNERISTYS

3.1 Yleistä lämmönjohtavuudesta

Rakennusten lämmöneristekerroksen vahvuudella on suora vaikutus energiankulutukseen. Eristeen lämmönjohtavuudella on yhtä suuri merkitys, koska sen arvo määrittää, kuinka paljon eristettä rakenneosiin tulee asentaa, jotta lämmöneristysmääräysten mukaiset U-arvot täyttyvät.

Eri lämmöneristeitä valmistavien yritysten tuotteet saattavat erota lämmönjohtavuusarvoiltaan merkittävästi. Syynä tähän on lämmönjohtavuusarvon, λ (lambda), eri esitystavat. Alla olevassa luettelossa näkyvät lämmönjohtavuusarvojen esitystavat:

- ilmoitettu lämmönjohtavuus $\lambda_{\text{declared}}$
- lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design}
- normaalin lämmönjohtavuus λ_n

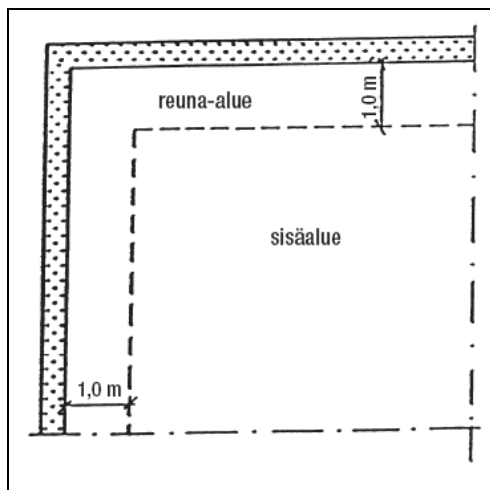
Lämmönjohtavuuden arvot $\lambda_{\text{declared}}$ ja λ_{design} ovat 5-30 % alhaisemmat kuin normaalilla lämmönjohtavuudella. Tämä johtuu siitä, että kyseiset esitystavat eivät huomioi rakenteissa tapahtuvaa ilman virtausta, rakenteiden aiheuttamia epäjatkuvuuskohtia ja eristeen suojausta. Nämä tekijät on otettava laskelmissa erikseen huomioon korjauskertoimien avulla, jotka standardit EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 määrittävät. Arvojen eroavaisuuksien vuoksi ne eivät ole täysin verrattavissa keskenään normaaliin lämmönjohtavuuteen.

Normaalin lämmönjohtavuus λ_n ottaa huomioon rakenteissa tapahtuvan ilmanläpäisevyyden, epäideaalisuudet sekä suojaustavan rakennustyömaalla asennusvaiheessa. Tämä vaikuttaa laskelmissa korottavasti U-arvoihin, mikä osaltaan lisää lämmöneristeen tarvetta rakennuksessa. Eri rakennusmateriaalien normaalit lämmönjohtavuusarvot esitetään Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa C4. Sieltä löytyvät arvot niille materiaaleille, joille ei ole ilmoitettu tyyppihyväksyttyä arvoa lämmönjohtavuuden osalta. Jos valmistaja ilmoittaa tuotteelle tyyppihyväksytyn arvon, voidaan sitä käyttää laskelmissa suoraan, koska tyyppihyväksyntä kattaa samat asiat kuin normaalin lämmönjohtavuuskin. Tällöin U-arvon määrittämisessä ja laskemisessa noudatetaan lämmöneristysmääräysten C4 mukaisia ohjeita.

3.2 Alapohja

3.2.1 Maanvarainen alapohja

Kuvassa 4 esitetty rakennuksen alapohjan eristys jaetaan rakennusmääräyskokoelma C4:n mukaan reuna- ja sisäalueeseen. Tämä johtuu siitä, koska maan lämmönvastusarvot eroavat toisistaan rakennuksen vierustoilla ja keskellä. [4.]



Kuva 4. Alapohjan reuna- ja sisäalue. [4.]

Reuna-alueen lämmöneristyksessä on otettava huomioon perusmuurin kylmällä puolella olevan maan lämmönvastus. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että 1,0 metrin suuruiselle reuna-alueelle tulee laittaa enemmän lämmöneristettä, koska alapuolella olevan täyttökerros on lähemmin kosketuksessa ympäröivään kylmään ilmaan. Eristeen lisäyksen ansiosta lämmön johtuminen alapohjan kautta saadaan vähäisemmäksi. [4.]

Rakennuksen sisäalueen täyttökerros on luonnollisesti lämpimämpi, joten sinne riittää vähäisempi määrä lämmöneristettä. Sisä-alue voidaan toki eristää kauttaaltaan samalla vahvuudella kuin reunaltakin, jolloin päästään parempaan U-arvoon alapohjan osalta. Mahdolliset painumat betonilaatassa tasoittuvat eristepaksuuden ollessa sama. Se nostaa tosin rakennuskustannuksia jonkin verran, riippuen pohjan pinta-alasta.

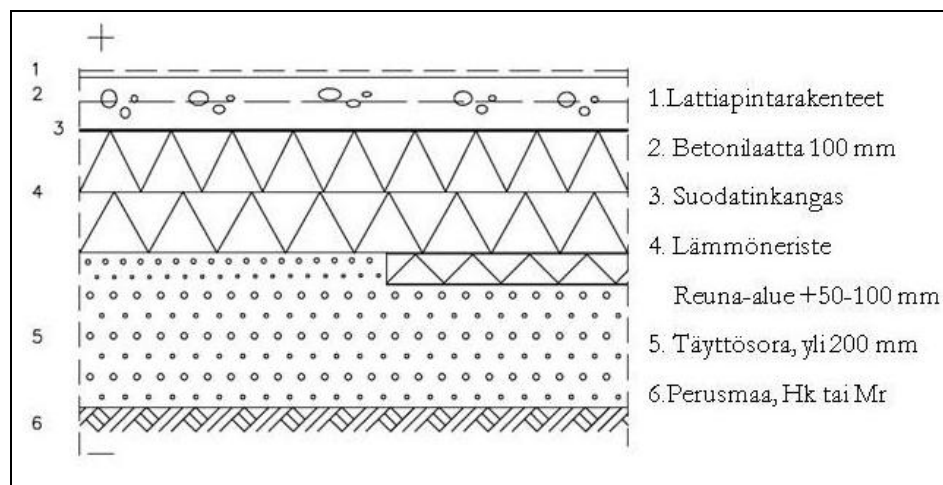
Eristeen määrä alapohjassa voi poiketa U-arvon osalta 30 % alaspäin, mutta tämä tulee katkaa lisäämällä eristettä rungossa ja yläpohjassa tai parantamalla vaipan ilmatiiviyttä.

Eristekerroksen paksuus määräytyy nykyisten lämmöneristysmääräysten C3 ja C4 mukaan. Taulukossa 8 esitetyt U-arvovaatimukset määräytyvät talotyypin mukaan. Reuna-alue on otettava huomioon eristevahvuuden lisäyksenä joka näkyy kuvassa 5. [12.]

Taulukko 8. Maanvaraisen alapohjan U-arvot. [12.]

Vaadittu U-arvo W/m ² K	Maanvarainen alapohja	Eristeen kokonaispaksuus
Normitalo 2010	0,16	200 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,12	250 mm
Passiivitalo P-25	0,1	350 mm

Kuvassa 5 on esitetty leikkauskuva maanvaraisen alapohjan toteutusperiaatteesta. Eristekerroksen päälle tulee asentaa suodatinkangas, joka estää eristeiden liikkumisen lattiavalun aikana. Betonilaattaan ei näin ollen tule haitallisia kylmäsiltoja eristeiden rakoilun vuoksi. Samalla lattiarakenteesta tulee yhtenäinen ja se pääsee elämään koko rakenteena.



Kuva 5. Maanvarainen alapohja. [17.]

Lämmöneristeenä kyseisessä ratkaisussa on käytetty EPS-120-eristettä, jonka normaalin lämmönjohtavuus λ_n on 0,041 W/mK. Käytettäessä XPS-eristettä paksuudet olisivat vastavasti noin 50 mm pienemmät, koska kyseisen eristeen lämmönjohtavuus on alhaisempi, 0,037 W/mK. Eristeen tiheys on lähes puolet suurempi, joten se kestää puristuslujuudeltaan kuormitusta EPS-eristettä paremmin. Tällaisten eristeiden käyttö on perusteltua etenkin passiivitaloissa, joissa betonilaatan aiheuttama painuma voi kasvaa hyvinkin suureksi johtuen paksuista eristekerroksista.

3.2.2 Tuulettuva alapohja

Rakennettaessa tuulettuva alapohja on tärkeää kiinnittää huomiota ryömintätilan korkeuteen ja tilan riittävään tuuletukseen. Lisäksi ryömintätilasta on poistettava kaikki orgaaninen maa-aines ja vaihdettava se määräyksien mukaisiin maalajeihin. [17.]

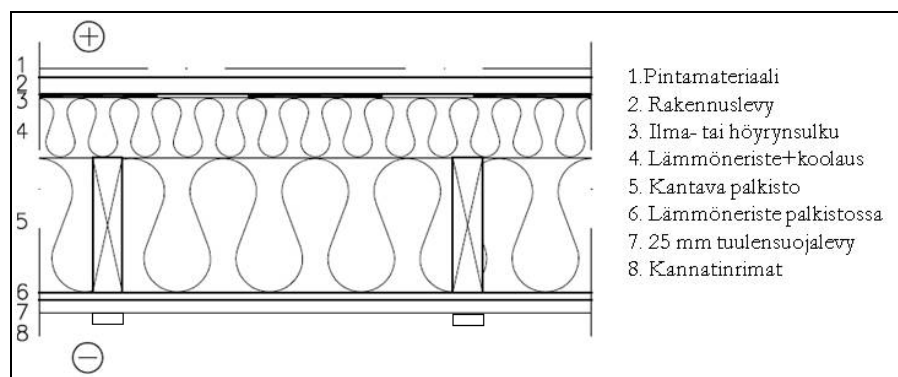
Ryömintätilan korkeus tuulettuvassa alapohjassa tulee olla vähintään 800 mm, jotta tilojen tuuletus tapahtuisi riittävän tehokkaasti. Lisäksi ryömintätila tulee olla ympäröivää maanpintaa korkeammalla, jotta mahdolliset valuma- ja sulamisvedet eivät pääse talon alle. [17.]

Tuuletusluukkujen koko tulee olla vähintään 4 ‰ ja enintään 8 ‰ alapohjan pinta-alasta. Jos tuuletusluukkujen koko on tätä isompi, saa alapohjan U-arvo olla enintään 0,09 W/m²K ja matalaenergia- sekä passiivitalossa 0,08 W/m²K. Luukkujen korkeus tulee olla vähintään 150 mm ympäröivää maanpintaa ylempänä. [17.]

Ryömintätilaan ei saa jättää rakennusvaiheessa mitään orgaanista ainesta eikä rakennusjätteitä, koska ne luovat otollisen kasvualustan homeelle yhdessä kosteuden kanssa.

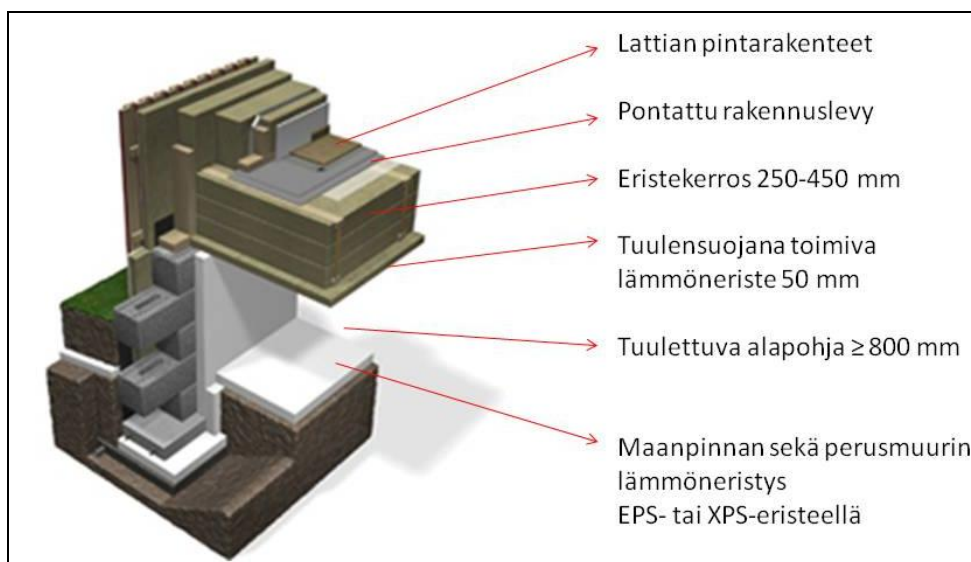
Taulukko 9. Tuuletetun alapohjan U-arvot [12.]

Vaadittu U-arvo W/m²K	Tuuletettu alapohja	Eristeen kokonaispaksuus
Normitalo 2010	0,17	200 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,1	350 mm
Passiivitalo P-25	0,08	500 mm



Kuva 6. Tuuletettu alapohja, rakenneratkaisu 1. [12.]

Puurunkoisessa alapohjassa eristevahvuutta kasvatetaan tarpeen mukaan kantavien palkkien ja ristikoolauksen avulla. Normitalo 2010:n mukaisilla eristevahvuuksilla tämä ratkaisu onnistuu normaalilla sahatavaralla. Matalaenergia- ja passiivitalojen kohdalla eristevahvuus kasvaa 350–500 mm:iin saakka, joten käytännössä kantava rakenne tulee tehdä kertopuusta tai vastaavasta. [18.] Eräs toteutusperiaate on esitetty kuvassa 7.

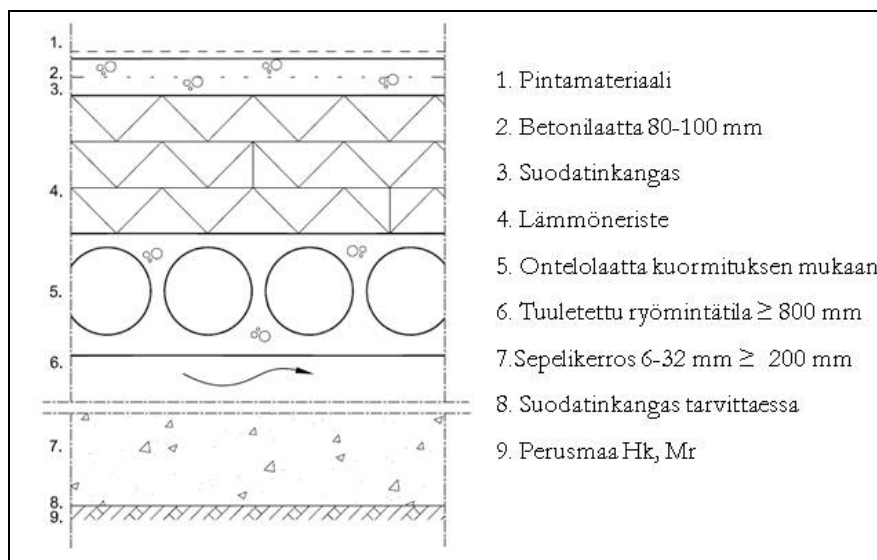


Kuva 7. Tuuletettu alapohja, rakenneratkaisu 2. [26.]

Mineraalivillalla eristettäessä paksut kerrokset voivat aiheuttaa kokoonpuristumista, mikä vähentää eristekerroksen toiminnallista tehokkuutta. Vastaavasti EPS- tai XPS-eristeen osalta tätä ongelmaa ei ole, mutta puun eläminen aikojen saatossa voi aiheuttaa rakoilua eristekerroksessa ja aiheuttaa samalla tavalla eristeen toiminnan heikkenemisen. [18.] Lisäksi tuulettuvassa alapohjassa tulisi käyttää kosteutta hyvin kestäviä ja tiiviitä materiaaleja, joihin päästään paremmin käyttämällä kantavana rakenteena betonisia ontelolaattoja. [19.]

Ontelolaatat valitaan kohteeseen kuormituksen ja halutun jännevälän mukaan. Tyypillisimmät paksuudet vaihtelevat välillä 150–270 mm. Saumavalun kuivumisen jälkeen lämmöneristekerros voidaan asentaa suoraan laattojen päälle, raudoittaa ja suorittaa pintavalu. Eristemateriaalin tulee kestää pintavalulta aiheutuvat kuormitukset painumatta, joten on järkevää käyttää EPS- tai XPS-eristeitä. Osa lämmöneristekerroksesta voidaan myös asentaa ontelolaatan alapuolelle mekaanisilla kiinnikkeillä. Ontelolaatasta tehty tuuletettu alapohjarakenne on esitetty kuvassa 8. [19.]

Tuulettuvien alapohjarakenteiden etu on siinä että maaperästä mahdollisesti nouseva radonkaasu ei pääse alapohjarakenteita pitkin sisäilmaan vaan haihtuu ulos ryömintätilasta. Kyseinen alapohjarakenne on maanvaraiseen lattiarakenteeseen verrattuna huomattavasti korkeammalla. Lattian pinta voi olla jopa yli metrin ympäröivää maanpintaa ylempänä. [18.]



Kuva 8. Tuuletettu alapohja, ontelolaatta. [12.]

Rakennuksessa alapohjan toiminta ja kuivana pysyminen perustuu ylhäältä alaspäin johtuvaan lämpövirtaan, joka pitää eristekerroksen alla olevan täyttömaan riittävän lämpimänä. Tämä estää osaltaan roudan tunkeutumisen perustuksien alle, kun lämpötila ei laske liian alhaiseksi. [18.]

Kun maanvaraisen alapohjan lämmönjohtavuus on pienempi, kuin $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, tulee rakennuksen routasuojaus suunnitella kylmien tilojen mukaan. Tuulettuvan alapohjan vastaava arvo on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tämä johtuu siitä, että paksumpi eristekerros ei luovuta riittävästi lämpöä alapohjan läpi ja näin ollen routasuojaukseen tulee lisätä kattamaan lämpötilan muutos. Routasuojaukseen tulee kiinnittää huomiota etenkin matalaenergia- ja passiivitaloissa, joissa alapohjan lämmöneristeen vahvuus on 350–500 mm. [18.]

Tuulettuvassa alapohjassa vastaava lämpötilan aleneminen voi aiheuttaa routavaurioiden lisäksi kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Perusmuurin sisäpinnan ja ryömintätilan lämmöneristys auttaa vähentämään tätä ongelmaa, koska ulkoa tuleva ilma lämpenee saapuaan ryömintätilaan. [20.]

3.3 Ulkoseinä

3.3.1 Kantava puurankaseinä

Lämmöneristeen kokonaisvahvuus ulkoseinässä lämmöneristysmääräysten C4 mukaan näkyy alla olevassa taulukossa 10. Lämmöneristeen kokonaispaksuus on laskettu tyyppihyväksytyllä lämmönjohtavuuden arvolla 0,041 W/mK. Arvoista voidaan poiketa 30 %, mutta lämpöhäviöt tulee kattaa joko vaipan tiiveyttä tai LTO:n vuosihyötysuhdetta parantamalla.

Taulukko 10. Ulkoseinän U-arvot. [12.]

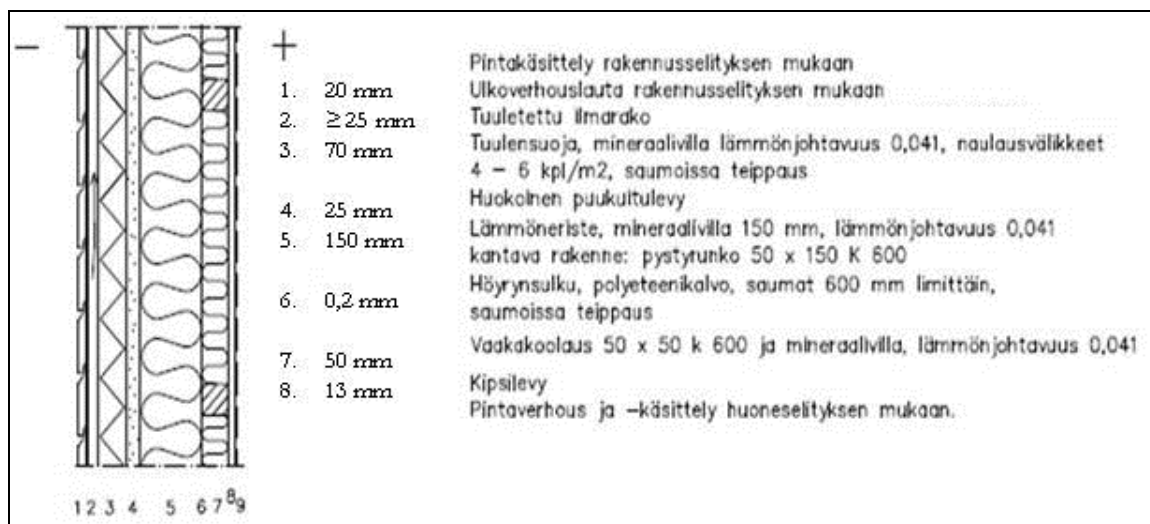
Ulkoseinä	Vaadittu U-arvo W/m ² K	Eristeen kokonaispaksuus	Rungon kokonaispaksuus
Normitalo 2010	0,17	250 mm	350 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,12	365 mm	420 mm
Passiivitalo P-25	0,1	440 mm	500 mm

Perinteinen rakennuksen kantava puurunko on nykyään tehty 150 mm paksuisesta sahatavara- ja rungon lämmöneristekerroksen vahvuutta kasvatetaan ristikoolauksella. Eristekerroksen tuulensuojaus hoidetaan joko pinnoitetulla kovalla villalla tai tuulensuojalevyllä.

Eristekerroksen kasvaessa ei ole enää luontevaa kasvattaa rakennuksen runkoa pelkästään ulospäin. Parempi hyöty saadaan, kun rakennuksen lämpimälle puolelle asennetaan 50–75 mm lämmöneristettä. Samalla rakennuksen ilmatiiviys paranee, kun höyrynsulku asennetaan sisäpuolisen lämmöneristekerroksen taakse. Muovikalvo pysyy näin ollen yhtenäisenä, koska esimerkiksi talon sähköjohdotukset voidaan asentaa kulkemaan eristetilassa ja rasioille ei tarvitse tehdä ilmavuotoja lisääviä reikiä.

Asennettaessa höyrynsulku rakennuksen sisäpuolisen eristeen alle on enimmäismäärä nykyisen normitalo 2010:n eristevahvuuksilla noin 50 mm, koska sisäpuolisen eristeen suhde kokonaispaksuuteen ei saa ylittää 25 %:a. Matalaenergia- ja passiivitalossa vastaava lukema on 75 mm. Edellä mainittu lukema sisältää vielä hyvin varmuutta siihen, että kosteus ei pääse tiivistymään viilenneisiin seinä rakenteisiin. [20.]

Taulukossa 10 on esitetty vaatimukset perinteiselle puurankaseinälle. Nykyisten lämmöneristemääräyksien C4 mukaisesti rakennettu normitalon ulkoseinärakenne on mahdollista toteuttaa vielä 150 mm kantavalla rungolla. Lämmöneristekerrosta kasvatetaan 50 mm sisäpuolelle, ja ulkopuolinen eristekerros toteutetaan 25 mm huokoisella puukuitulevyllä ja 70 mm paksulla tuulensuojalevyllä, joka toimii samalla lämmöneristeenä. Edellä mainituilla eristevahvuuksilla seinän U-arvoksi saadaan $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toteutusperiaate on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Ulkoseinärakenne, kantava puurunko. [12.]

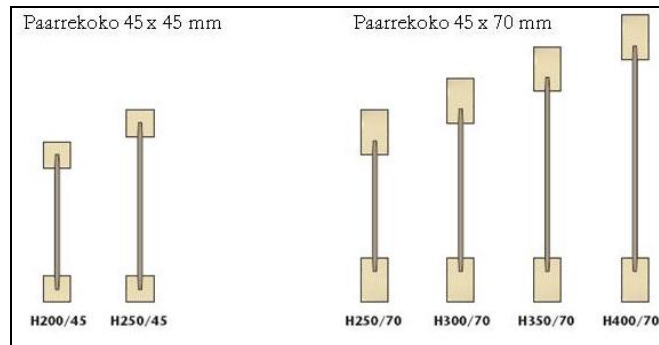
Matalaenergiatalon M-50 osalta toteutusperiaate on rakennetyypin osalta sama, vain kantava runko ja sisäpuolinen eriste kasvavat. Kantavana runkona käytetään tässä tapauksessa 200 mm sahatavaraa ja sisäpuolisen eristeen määrä on 70 mm. Näillä toimenpiteillä rakenteen U-arvoksi saadaan $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä täyttää matalaenergiatalon vaatimuksen ulkoseinässä.

Passiivitalo P-25:ssä kyseinen runkoratkaisu voidaan toteuttaa samalla tavalla, mutta kantavan rungon paksuutta tulisi kasvattaa lähes 100 mm. Kantavan rungon paksuudeksi tulee näin ollen lähes 300 mm, mikä onnistuu kyseisen ratkaisun osalta vain kerto- tai liimapuura-kenteella.

Jos kantavan rungon paksuus ylittää 200 mm, on syytä harkita I-palkkirunkoa, jossa päästään huomattavasti suurempiin runkovahvuuksiin. I-profiilinen runko ei aiheuta niin paljon epäideaalisuuksia rungon ja lämmöneristeen välillä kuin normaali puurunko ja näin ollen ilman virtaus eristekerroksessa vähenee. Hyöty saadaan näin ollen parempana lämmöneristyskykynä. Kyseinen runkoratkaisu voidaan toteuttaa normaalilla K 600-jaotuksella. [21.]

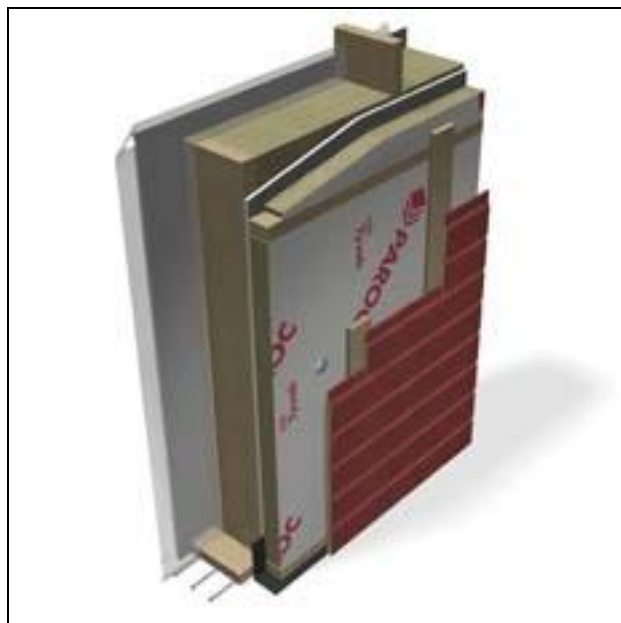
3.3.2 I-palkkirunko

Kuvissa 10 ja 11 esitetyt I-palkkirakenteet tehdään kovasta puukuitulevystä ja lujuusluokitellusta höylätystä sahatavarasta, joka täyttää vaatimukset kantavien rakenteiden osalta eri kosteusolosuhteissa. Kuitulevyn paksuus on noin 6 mm, ja profiilin korkeus määräytyy lämmöneristystarpeen mukaan.



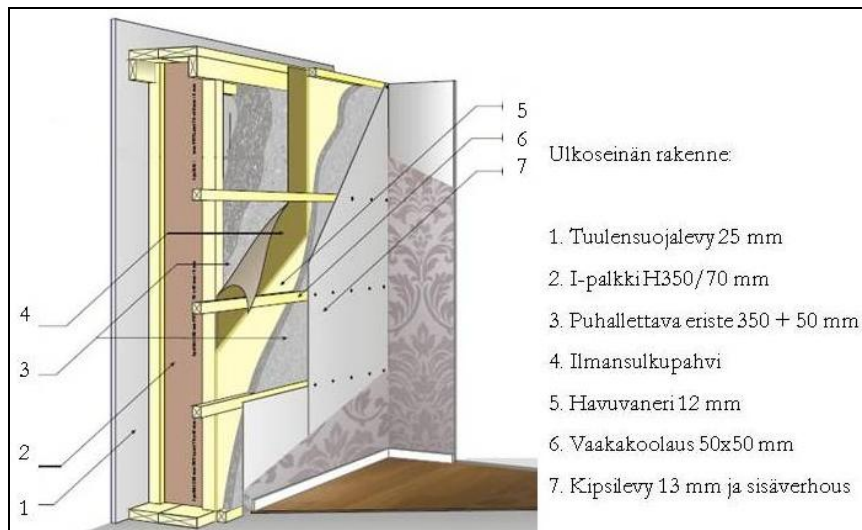
Kuva 10. I-palkkirakenteen poikkileikkaus. [21.]

Puukuitulevy on liimattu uritettuun paarrerakenteeseen 20 mm puoleltaan, joten esimerkiksi H350/70-palkissa lämmöneristyspaksuus on kuitulevyn kohdalla 310 mm. Uuman aiheuttaman porrastuksen vuoksi seinärakenteeseen on valittava paksuudeltaan sopivat lämmöneristelevyt, jotta asennus käy tehokkaasti ja materiaalihukka pysyy pienenä.



Kuva 11. Lämmöneristyslevyt I-palkkirungossa. [26.]

I-palkkirakenteet voidaan myös eristää puukuitueristeellä, joka ruiskutetaan märkänä seinärakenteisiin yhdessä liima-aineen kanssa. Kuivuessaan puhallettu eriste tarttuu rakenteisiin ja muodostaa yhtenäisen lämmöneristekerroksen. [22.]



Kuva 12. Ruiskutettu puukuitueriste ulkoseinässä. [22.]

Kuvassa 12 esitetyn seinärakenteen kokonaisvahvuus on pintamateriaaleista riippuen noin 500 mm. U-arvo kyseiselle seinärakenteelle on $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun eristevahvuus on 425 mm. Puhallusvillan normaalin lämmönjohtavuus λ_n on $0,041 \text{ W/mK}$. U-arvon laskennassa on noudatettu rakennusmääräyskokoelma C4:n mukaisia ohjeita.

I-palkkirunko sopii parhaiten matalaenergiatalo M-50:n ja passiivitalo P-25:n mukaisille runkovahvuuksille. Rakenne on suhteellisen hoikka verrattuna tavalliseen puurunkoon, joten sen jäykistämiseen tulee kiinnittää huomiota. Jäykistäminen voidaan toteuttaa kuvassa 11 esitetyllä tavalla, joka toteutetaan havuvanerin ja vaakakoolauksen avulla.

Talon rungon kokonaisvahvuuteen voi vaikuttaa valitsemalla alhaisen lämmönjohtavuuden omaavan lämmöneristeen. Käytettäessä SPU-eristeitä U-arvovaatimukset saavutetaan ulkoseinän osalta jo huomattavasti vähäisemmillä eristepaksuuksilla.

Kyseisiä eristeitä on käytetty jo pitkään kylmähuoneiden eristyksessä ja kotona olevissa kylmälaitteissa, kuten pakastimessa ja jääviileäkaapissa. Pinnoitettuna niitä käytetään myös saunan lämmöneristeenä, joka kestää hyvin kosteutta ja on vesihöyryä läpäisemätön materiaali.

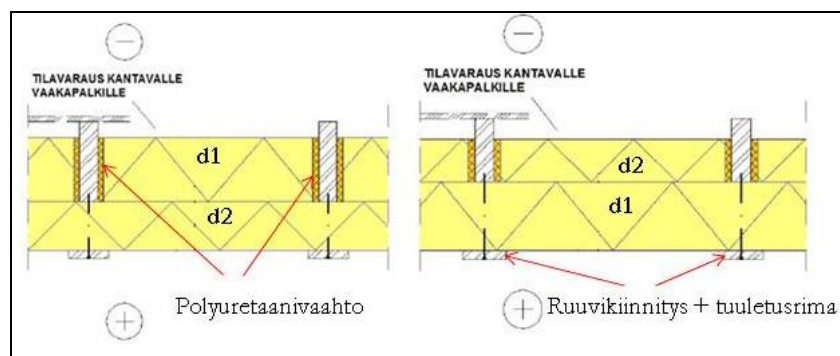
3.3.3 SPU-eristetty puurankaseinä

Käytettäessä SPU-eristeitä ulkoseinä voidaan eristää kokonaan tai osaksi kyseisellä lämmöneristeellä. Eristettäessä pelkästään SPU-eristelevyillä voidaan ne asentaa samalla tavalla kuin tavalliset pehmeät lämmöneristyslevyt. Levykoko käy K600-jaotukselle. Runkotolppien välit tulee tiivistää tarkoitukseen sopivalla saumavaahdolla ja levyjen saumat teipata.

Taulukko 11. SPU-eristetty ulkoseinä.

SPU-eristetty ulkoseinä $\lambda_{\text{design}} = 0,024$ W/mK	Vaadittu U-arvo W/m ² K	Eristeen kokonaispaksuus	Rungon kokonaispaksuus
Normitalo 2010	0,17	130 mm	200 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,12	200 mm	270 mm
Passiivitalo P-25	0,1	260 mm	350 mm

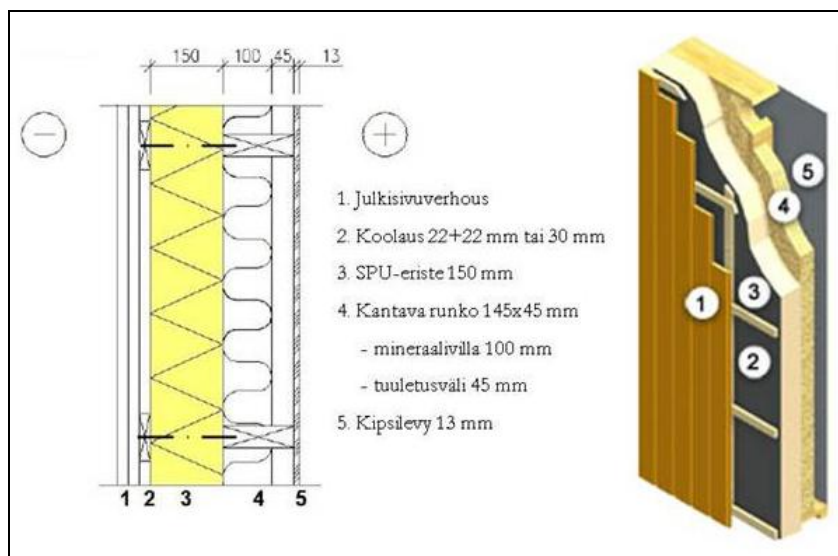
Taulukosta 11 käy ilmi, että seinärakenteiden kokonaispaksuus pienenee selvästi käytettäessä SPU-levyjä. Esimerkiksi normitalossa 2010 vaadittava U-arvo saavutetaan jo 150 mm:n kantavalla rungolla. Ulkoseinärakenteen ohentuessa voidaan myös perusmuurin kokoa pienentää, koska rakenne ei aiheuta niin paljon kuormitusta perustuksille. [23.]



Kuva 13. SPU-seinärakenteen leikkauskuva. [23.]

Eristelevyjen sijoituksella voidaan vaikuttaa kantavan rungon paksuuteen d1 ja d2. Runkotolppien ja eristelevyn liitoskohta tulee eristää tiiviiksi siihen soveltuvalla polyuretaanivaahdolla. Kantava yläohjauspuu tulee kuitenkin huomioida mitoittaessa runkoa, koska se vie 50 mm eristevahvuudesta. Lämpimälle puolelle tarvittava ilmatila voidaan tehdä myös 50 x 50 mm sahatavarasta vaaka- tai pystykoolauksena, jolloin sähköjohdotukset voidaan vetää ilmatilan kautta. Koolauspuut tulee kiinnittää tarkoitukseen sopivilla ruuveilla.

Ulkoseinän lämmöneristys voidaan toteuttaa myös esimerkiksi sekarakenteena, joka on esitetty kuvassa 14. Kantavan rungon ulkopintaan asennetaan halutun U-arvon mukainen SPU-eriste ja vastaavasti kantavan rungon sisään pehmyt mineraalivillalevy. Mineraalivillaa asennettaessa on muistettava, että ulkopuolella olevan tiiviin eristysmateriaalin takia pitää kantavan rungon sisäpuolelle jättää riittävä ilmarako. Kuvassa näkyvässä esimerkissä se on 50 mm, joka toimii samalla asennustilana.



Kuva 14. Sekaeristetty puurunkoinen ulkoseinä. [23.]

Kyseisen seinän U-arvo on $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Laskennassa käytetyt lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot (λ_{design}) ovat SPU-levyjen sekä mineraalivillan osalta $0,024 \text{ W/mK}$ ja $0,036 \text{ W/mK}$.

SPU-eristelevyt ovat ominaisuuksiltaan erittäin tiiviitä rakennusmateriaaleja. Levyjen koostumuksen ansiosta niiden vesihöyryn- ja ilmanläpäisevyys on niin pieni, että erillistä höyrynsulkua ei tarvita.

Höyrynsulku voidaan kuitenkin asentaa lämpimälle puolelle esimerkiksi sekaeristettyyn ulkoseinään, mutta silloin SPU-eriste ei saa olla alumiinipintainen. Tällöin on käytettävä pinnoittamattomia eristelevyjä, jotta välttyään kosteuden tiivistymiseltä rajapintaan. Ilmatäivyyden kannalta olisi tosin parempi, että ulkoseinään laitetaan sisäpuolinen höyrynsulku. Tällä varmistutaan siitä, että mahdollisten vuotokohtien riski vaipassa pienenee entisestään. [23.]

3.4 Yläpohja

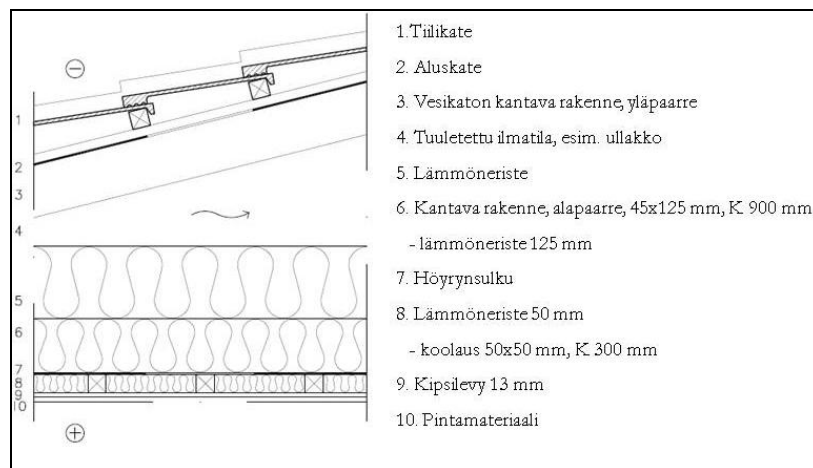
3.4.1 Kattoristikkorakenne

Yläpohjan eristevahvuus näkyy talotyypeittäin taulukossa 12. Kokonaisvahvuus lämmöneristeelle on laskettu mineraalivillalle, jonka normaalin lämmönjohtavuus λ_n on 0,041 W/mK.

Taulukko 12. Yläpohjan U-arvot. [12.]

Yläpohja	Vaadittu U-arvo W/m ² K	Eristeen kokonaispaksuus
Normitalo 2010	0,09	450 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,08	500 mm
Passiivitalo P-25	0,07	600 mm

Kuvassa 15 on esitetty perinteinen kattoristikkorakenne K 900, joka on eristetty pehmeillä mineraalivillalevyillä. Eristekerrokset limitetään asianmukaisesti, jotta rakenteen kylmäsiltojen vaikutus lämpöhäviöihin olisi mahdollisimman pieni. Kyseisen rakenteen U-arvot ja niitä vastaavat eristevahvuudet näkyvät taulukossa 12. Tuulettuvan kattoristikkorakenteen lämmöneristävyyskyky pysyy käytännössä samana riippumatta siitä, mitä vesikatetta käytetään.



Kuva 15. Mineraalivillalla eristetty yläpohja. [24.]

Höyrynsulku asennetaan normaalisti alapaarteeseen pintaan asianmukaisella limityksellä ja saumat tiivistetään siihen soveltuvalla massalla. Alapuolelle tehtävän ristikoolauksen ansiosta

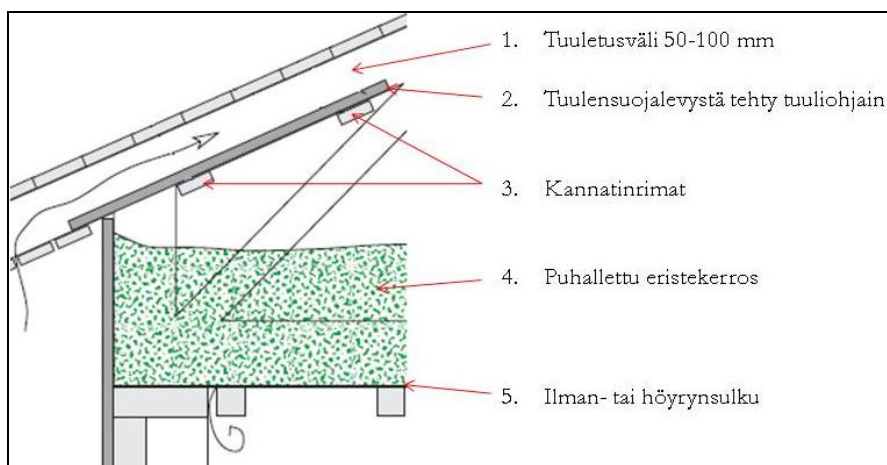
höyrynsulku säilyy yhtenäisenä samalla tavalla kuin ulkoseinässäkin, koska sähköjohdotukset ja kattorasiat voidaan asentaa eristetilaan. [12.]

Pelkästään pehmeillä mineraalivillalevyillä eristetyn yläpohjan U-arvo on todellisuudessa suurempi, kuin mitä laskelmat osoittavat. Syynä tähän on huokoisen eristeen kokoonpuristuminen ja lämmöneristyskyvyn heikkeneminen aikojen kuluessa. Painumisriski on suurempi kuin esimerkiksi ulkoseinässä, koska painovoima vaikuttaa luonnollisesti suoraan alaspäin. Jos yläpohjan eristys halutaan toteuttaa pehmeällä villalevyllä, pitää alempien eristekerroksien kestää kuormitusta painumatta. Tästä johtuen lähimpänä alapaarretta olevien eristelevyjen tulee olla tiheydeltään suurempia eli ts. kovempaa materiaalia. [18.]

Yläpohjan eristeenä käytetään hyvin usein myös joko puhallettavaa mineraalivilla- tai puukuitueristettä. Molemmilla saavutetaan normaaliin villalevyeristykseen verrattuna yhtenäisempi eristekerros koko yläpohjan alueella, koska eriste levittyy hyvin myös pieniin väleihin.

Kuvassa 16 näkyvän puukuitueristeen etu verrattuna mineraalivillallaan on siinä, että sen kosteudensietokyky on huomattavasti parempi. Se pystyy sitomaan kosteutta painoonsa nähden 12 % ilman, että lämmöneristyskyky olennaisesti heikkenee. Mineraalivillapohjaisilla tuotteilla vastaava arvo on 0,5 %. [25.]

Painumavara on otettava huomioon myös käytettäessä puhallusvillaeristettä. Eriste tiivistyy ajan saatossa noin 5-10 % paksuudesta riippuen, joten sitä tulee lisätä vastaava määrä puhalluksen yhteydessä. Normaalinen lämmönjohtavuus puhallettaville eristeille on sama kuin mineraalivillallakin, joten eristevahvuuden määrittämisessä voidaan käyttää taulukon 12 arvoja.



Kuva 16. Puhallusvillalla eristetty yläpohja.[25.]

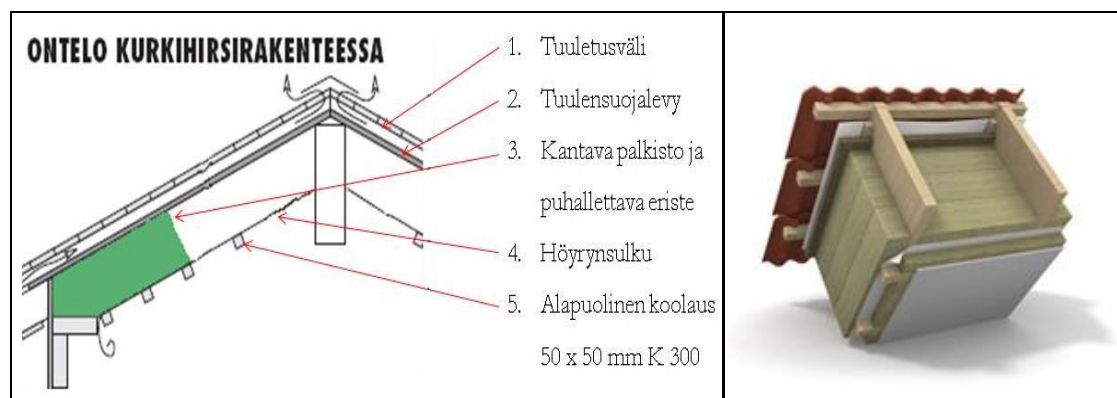
3.4.2 Kantava palkisto kotelorakenteella

Yläpohja voidaan toteuttaa kantavalla palkistolla, jonka varaan vesikatolta tuleva kuormitus kohdistuu. Harjalla kuormitukset siirtyvät kantavalle liimapuupalkille ja alapuolella kantavalle yläohjauspuulle. Palkiston jaotus on yleensä sama K 900 kuin kantavilla ristikoillakin, riippuen jännevälstä. Kyseinen rakenne toteutetaan yleensä kertopuu- tai I-palkeilla ja lämmöneristystarpeen kasvaessa myös palkin korkeus kasvaa.

Lämmöneriste asennetaan suoraan palkkien koteloituun väliin, jonka yläpuolinen tuulensuojalevy ja alapuolinen höyrynsulku muodostavat. Tuulensuojalevyn ja vesikattorakenteen väliin on jätettävä riittävä tuuletusrako, mikä on yleensä noin 50–100 mm riippuen jännevälstä.[25.]

Eristys voidaan toteuttaa esimerkiksi pehmeillä villalevyillä tai puhallettavalla eristeellä. Näin ollen eristeen kokonaispaksuus on sama kuin taulukossa 12. Normitalo 2010 vaaditun U-arvon osalta kantavan palkin korkeudeksi yläpohjassa tulee noin 500 mm, kun eristeen normaalin lämmönjohtavuus on 0,041 W/mK. Periaatepiirros toteutuksesta on esitetty kuvassa 17.

Eristettäessä puhallusvillalla ei painumista tarvitse ottaa huomioon, koska eriste tiivistyy riittävästi kotelorakenteen sisään jo puhallusvaiheessa. Jos katon kaltevuus ylittää 60°, tulee puhallusvillaan lisätä sitova liima-aines. Jyrkissä kattorakenteissa puhallus tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti.[25.]



Kuva 17. Puhallettavalla ja pehmeällä eristeellä toteutettu kotelorakenne. [25.] [26.]

Jos matalaenergia- tai passiivitalon yläpohja halutaan toteuttaa kyseisellä rakenteella, on järkevää käyttää pienemmän lämmönjohtavuuden omaavia eristemateriaaleja, jotta palkiston korkeus ei kasva liian massiiviseksi. Toteutusperiaate on esitetty kuvassa 18.

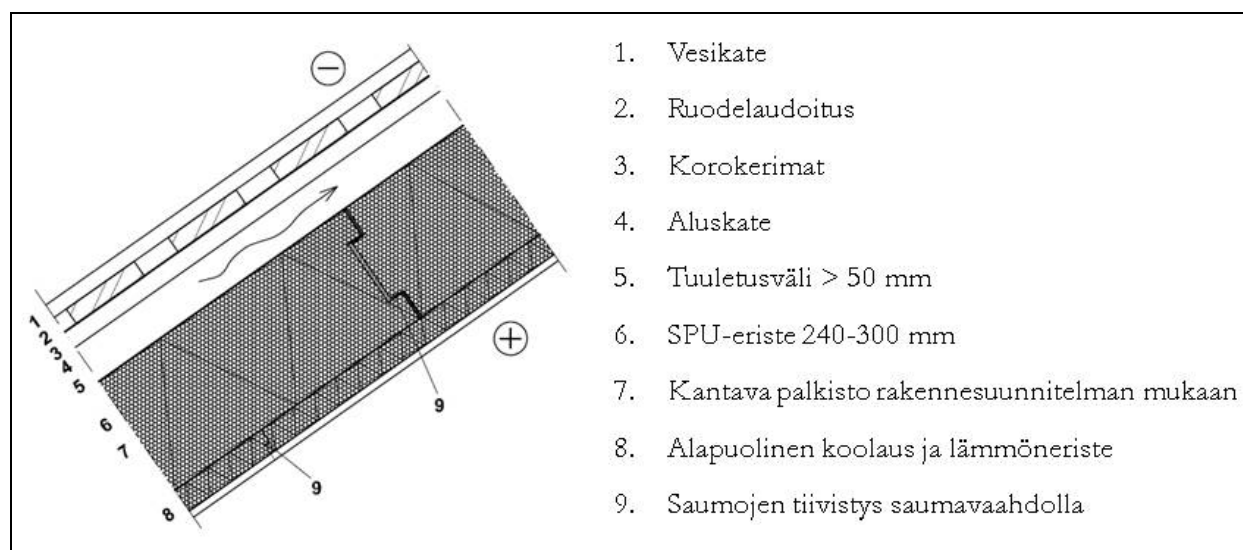
SPU-eristeitä käytettäessä kantavan palkiston korkeus on huomattavasti pienempi paremman lämmöneristävyyden ansiosta. Vaadittavat eristevahvuudet ja palkin suuntaa antavat korkeudet on esitetty taulukossa 13. Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo on 0,024 W/mK.

Taulukko 13. SPU-eriste yläpohjassa. [28.]

SPU-eristetty yläpohja $\lambda_{\text{design}} = 0,024$ W/mK	Vaadittu U-arvo W/m ² K	Eristeen kokonaispaksuus	Kantavan palkin korkeus
Normitalo 2010	0,09	240 mm	340 mm
Matalaenergiatalo M-50	0,08	270 mm	370 mm
Passiivitalo P-25	0,07	300 mm	400 mm

Koska SPU-eristeet ovat tiiviitä rakennusmateriaaleja, ei erillistä höyrynsulkua tarvitse asentaa. Levyjen saumat ja liittymät rakenteisiin tiivistetään tarkoitukseen sopivalla polyuretaanivaahdolla. Yläpohjarakenteen lämpimälle puolelle voidaan asentaa ristikoolaus ja sen sisälle pehmeä lämmöneriste, mikä helpottaa sähköjohdotuksien asentamista. [27.]

Höyrynsulku voidaan toki asentaa, jos halutaan lisää varmuutta halutun ilmatiiviyden saavuttamiseksi. Tällöin eriste ei saa olla alumiinipintainen, jotta kosteus ei tiivistyisi rajapintaan.

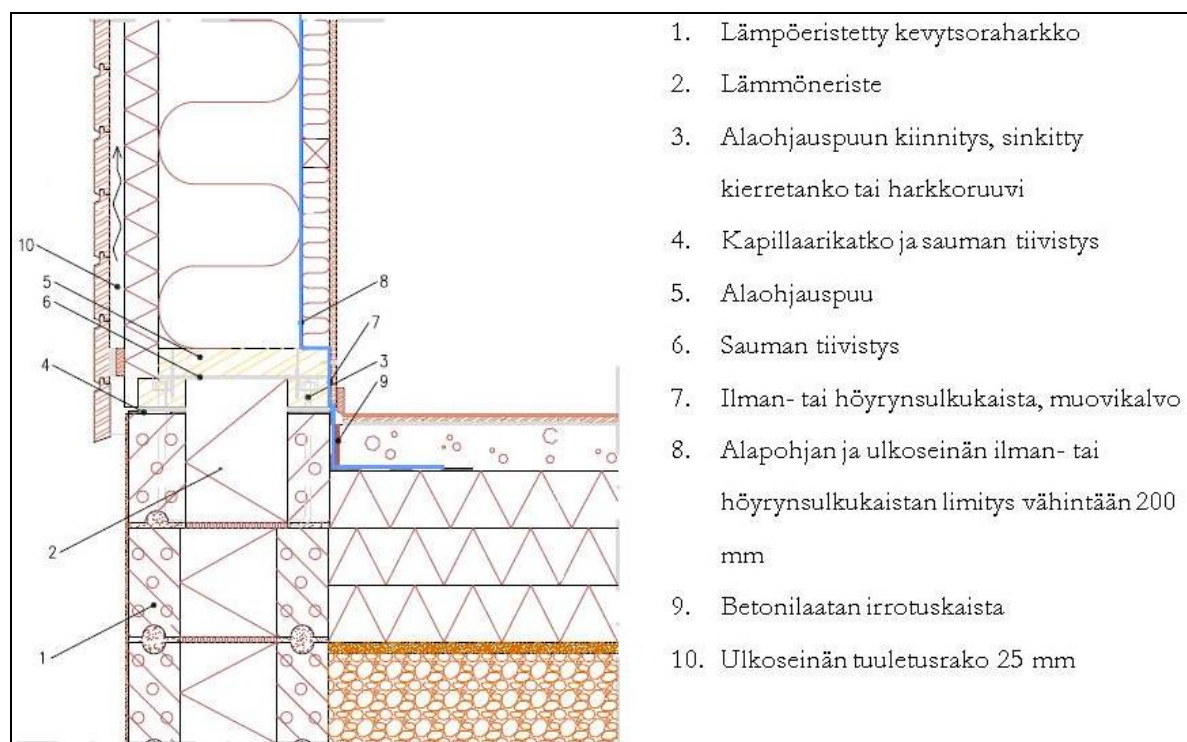


Kuva 18. SPU-eristeellä toteutettu kotelorakenne. [29.]

3.5 Rakenneosien liittymät

3.5.1 Alapohjan ja ulkoseinän liittymä

Kuvassa 19 on esitetty maanvaraisen alapohjan ja ulkoseinärakenteen liitos. Lämpöhäviöiden vähentämiseksi on suositeltavaa käyttää perusmuurissa lämpöharkkoa, jonka koko määräytyy rungon kokonaispaksuuden mukaan. Alaohjauspuun ja perusmuurin välinen liittymä tulee tiivistää asianmukaisesti tarkoitukseen sopivalla eristekaistalla ja kapillaarisen veden nousun ehkäisevä bitumikaista asennetaan eristekaistan alle. Bitumikaista toimii samalla radonkatkona ja se tulee limittää betonilaatan alla olevan lämmöneristekerroksen väliin. [12.]



Kuva 19. Maanvaraisen alapohjan ja ulkoseinärakenteen liitos. [24.]

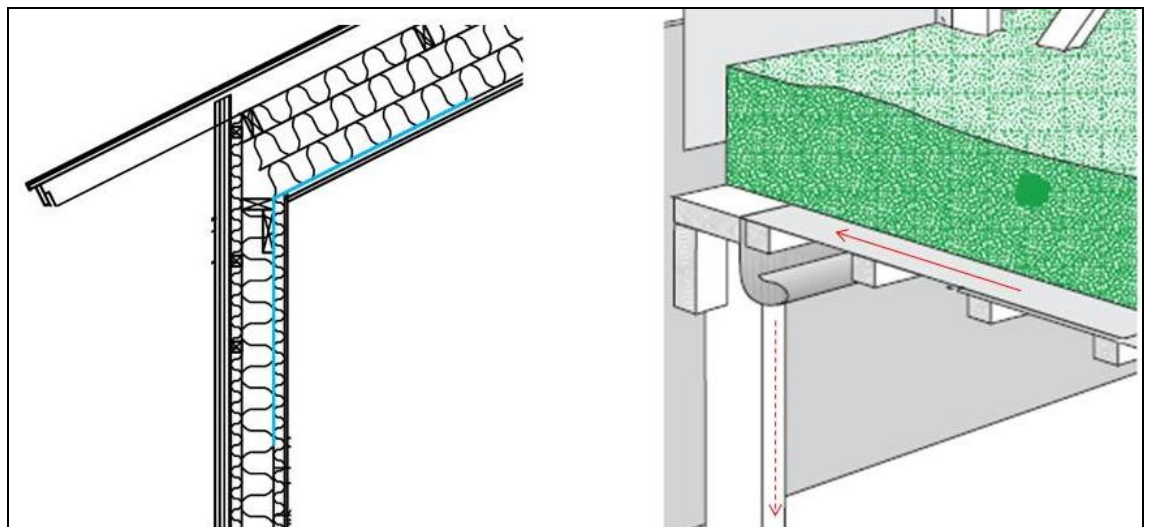
Eri rakenneosien liitoksiin tulee kiinnittää huomiota suunnittelu- ja rakennusvaiheessa, jotta mahdolliset vaipan vuotokohdat ja kylmäsilat saadaan minimoitua. Lämmöneristyskyvyn säilyttäminen mahdollisimman tehokkaana on kaikkein haasteellisinta eri rakenneosien liitoksissa. Haasteita asettavat myös Suomen rakentamismääräyskokoelman C3 mukaiset vaatimukset vaipan tiiviydelle. [12.]

Höyrynsulkua asennettaessa kalvosta tulee tehdä yhtenäinen koko vaipan alueella, millä varmistetaan vaadittava ilmatiiviys. Esimerkiksi passiivitalo P-25:n höyrynsulkukerroksen ilmanläpäisevyys saa olla korkeintaan saumakohdat mukaan lukien $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$. Parhaiten tähän päästään käyttämällä polyeteenimuovikalvoa, jonka saumat limitetään vähintään 200 mm. Limitys tehdään jäykkien pintojen väliin ja saumat tulee tiivistää tarkoitukseen sopivalla liimamassalla. [12.] Ennen lattiavalua asennettavaan höyrynsulkumuoviin tulee jättää riittävästi työstövaraa ulkoreunoille, jotta limitys seinärakenteeseen olisi mahdollisimman helppoa. Höyrynsulkukerroksen sijoitus näkyy kuvassa 18 korostettuna sinisenä viivana.

3.5.2 Ulkoseinän ja yläpohjan liittyminen

Talon rungon ja yläpohjan liittymän riittävä tiiviys voidaan varmistaa samalla periaatteella kuin alapohjassakin. Muovikalvo kiinnitetään kattotuolin alapaarteeseen ennen ristikoolausta ja viedään kiinni kantavaan runkoon. Limitystä tulee jättää vähintään 200 mm ja väli tulee tiivistää liimamassalla sekä teipata tarvittaessa. Vasta tämän jälkeen voidaan asentaa ristikoolausta kattoon ja seiniin. Kun höyrynsulku limitetään jäykkien pintojen väliin, pysyy se varmimmin yhtenäisenä ja lämmönvastus paranee. [12.]

Kuvassa 20 näkyvä höyrynsulku voidaan asentaa myös vaiheittain joko yläpohjaan tai ulkoseinään. Periaate limityksen suhteen on sama. Höyrynsulkuun tulee jättää työstövaraa, jotta sen liimaus ja tiivistys onnistuu helposti.

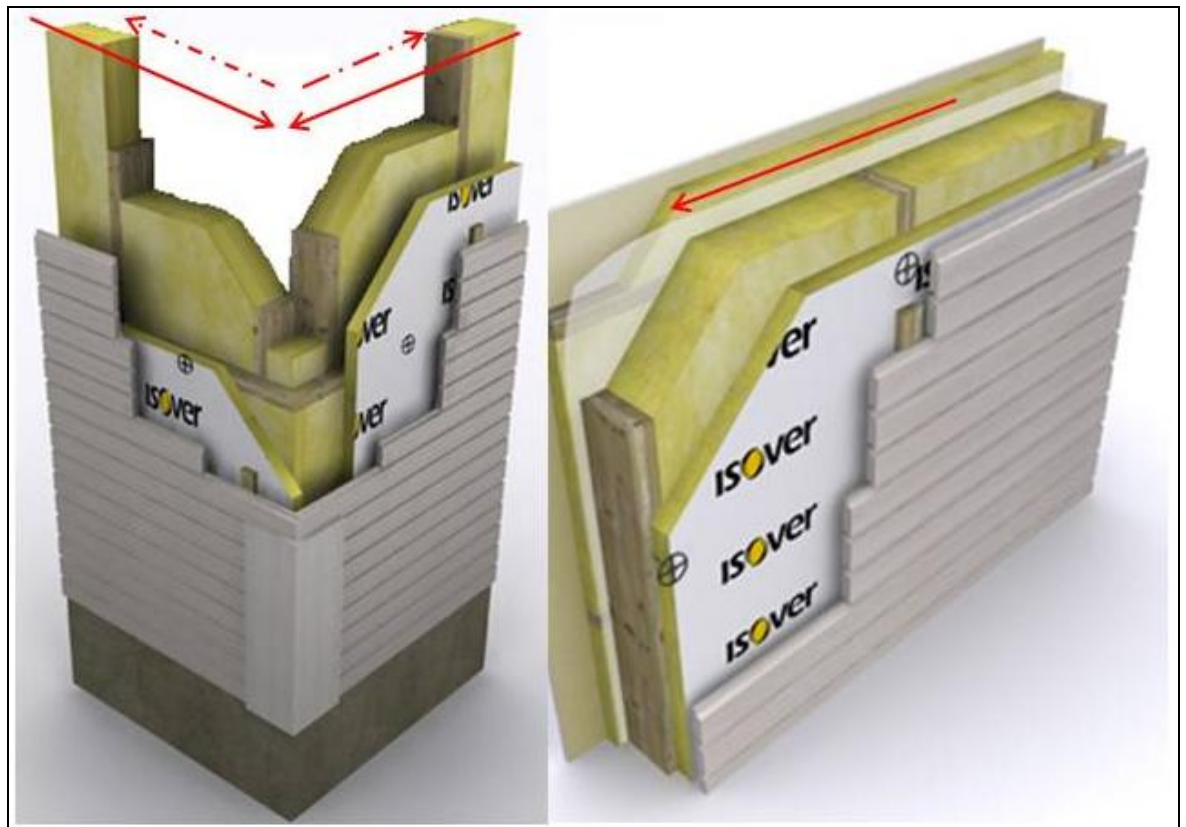


Kuva 20. Ulkoseinän ja yläpohjan liittyminen. [25.]

3.5.3 Ulkoseinän nurkkarakenne

Ulkoseinässä eristekerroksen paksuus mahdollistaa eristelevyjen limityksen, jolla kylmäsiltojen vaikutusta kantavan rungon osalta voidaan alentaa merkittävästi. Kuvassa 21 on esitetty eräs toteutusperiaate puurungon osalta, jossa ristikoolaus on asennettu rungon kylmälle puolelle ja sen päälle kova tuulensuojavilla teipatuin saumoin. [12.] [18.]

Käytännössä ulko- ja sisäpuolinen ristikoolaus eivät eroa toisistaan toteutuksen osalta. Koolauksen ansiosta lämmöneristeet voidaan asentaa limittämällä toisiinsa nähden ja näin ollen puurungon aiheuttama lämpöhäviö saadaan minimoitua.



Kuva 21. Ulkoseinärakenteen nurkkaliitos. [30.]

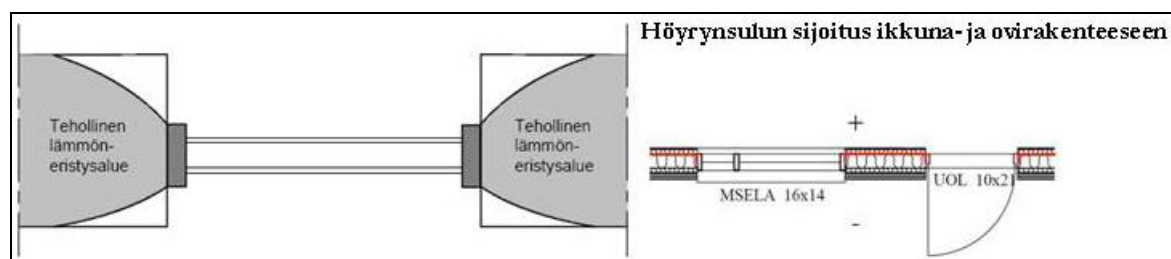
Kuvassa 21 näkyvä punainen nuoli kuvaa höyrynsulkumuovin asennusperiaatetta. Muovikalvo asennetaan ennen sisäpuolista koolausta. Höyrynsulun saumojen limitys tulee viedä nurkan yli seuraavan runkotolpan kohdalle jaotuksesta riippuen. Saumat tulee tiivistää liimamasalla ja tarvittaessa teipata. Höyrynsulku tulee taittaa huolella nurkan suuntaiseksi, jotta se ei repeydy koolausta asennettaessa. [12.]

3.5.4 Ovet ja ikkunat

Ovien ja ikkunoiden kautta johtuvan lämpöenergian määrän osuus rakennuksen vaipassa on yli 30 % joten on tärkeää että kohteeseen valitaan talotyypin vaatimuksien mukaiset ovi- ja ikkunaratkaisut.

Yhtä tärkeää on, että liittymät talon runkoon tehdään ja tiivistetään asianmukaisesti. Esimerkiksi M-50 ja P-25 –luokituksen omaavissa rakennuksissa on tiivis ja yhtenäinen höyrynsulku, joka mahdollistaa alhaisen energiankulutuksen johtumishäviöiden osalta. Tiiviissä rakennuksessa ilmanpaine-erot ulko- ja sisäpuolen välillä aiheuttavat sen, että ilma etsii korvaavia reittejä rakenteissa. Jos ikkunan tai ovien liittymäkohdat runkoon on eristetty tai tiivistetty huonosti, niin ilmapuodot rakenteen ympärillä lisääntyvät.

Ovien ja ikkunoiden sijoittamisessa on tärkeää, että ne asennetaan lämmöneristekerroksen kohdalle. Seinärakenteissa tämä aiheuttaa luonnollisesti lämmöneristyskyvyn heikkenemisen esimerkiksi ikkunan ja rungon liitosalueella, koska karmin ja rungon paksuus eroavat toisistaan. Liittymäkohdan eristyskyky on esitetty kuvassa 22. [18.]



Kuva 22. Tehollinen lämmöneristysalue rungon liittymäkohdassa. [18.]

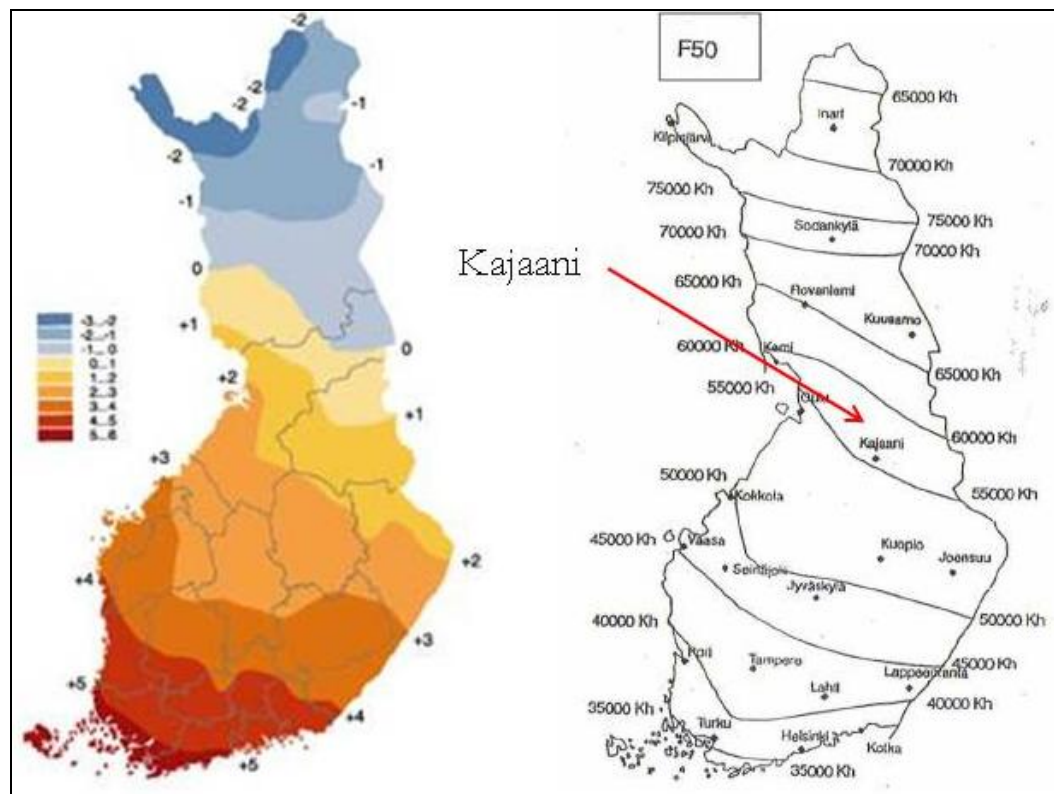
Puurunkoisessa ulkoseinässä vaipan tiiviys varmistetaan taittamalla höyrynsulkumuovi sisäpuolisen eristekerroksen alta ikkunan ja rungon väliin. Väli tulee tiivistää tarkoituksenmukaisella massalla, jotta liitoksesta saadaan ilmatiivis. Höyrynsulkumuovin asentaminen on esitetty kuvassa 21 punaisella viivalla.

Rakenteen lämpöhäviöitä voidaan vähentää lisäämällä ulkopuolella olevaan tuulensuojalevyyn kaistat ovi- ja ikkunarakenteen ympärille. Kaistoina voidaan käyttää samaa tuulensuojana toimivaa puukuitu- tai kovaa villalevyä kuin talon ulkoseinässäkin. Tämä tulee ottaa huomioon mitoittaessa ovi- tai ikkuna-aukkoja runkoon.

4 PERUSTUSTEN ROUTASUOJAUS

Talon routasuojauksen suunnittelun perustana käytetään ilmastollisia mitoitustekijöitä sekä maaperän olosuhteita. Suomi jaetaan alueellisiin ilmastovyöhykkeisiin vuoden keskilämpötilan ja pakkasmäärän perusteella, jotka näkyvät kuvassa 23.

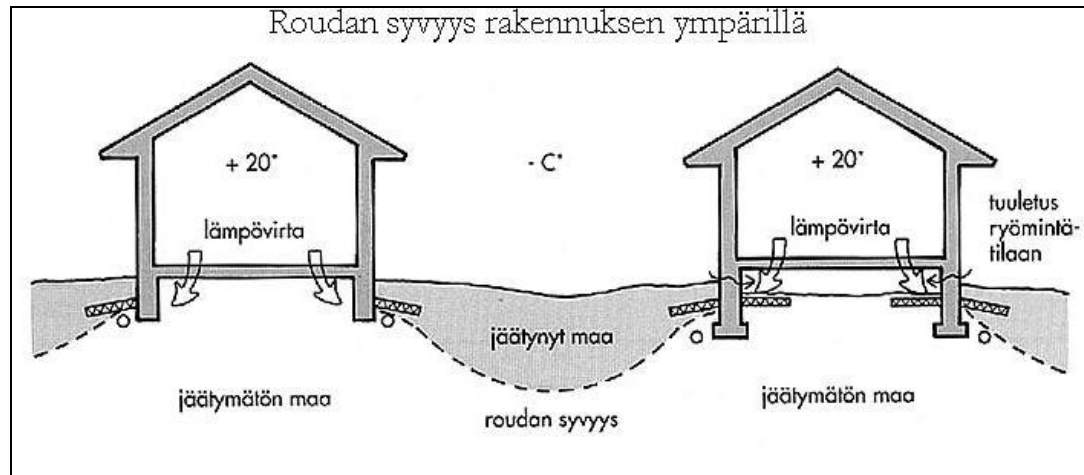
Vuoden keskilämpötilasta selviää maaperän lämpötila siinä syvyydessä, johon routa ei ulotu. Maan routaantumissyvyyttä arvioitaessa käytetään apuna alueellista pakkasmäärää. Se laskeaan talvikauden pakkasasteiden summana jokaiselta talvikauden tunnilta (Kh). [31.]



Kuva 23. Keskilämpötilat ja pakkasmäärät vyöhykkeittäin. [32.]

Talvikausien ankaruutta ilmaistaan eri todennäköisyyksin pakkasmäärien osalta. Tilastolliset todennäköisyydet vaihtelevat aina keskimäärin kerran kahdessa vuodessa toistuvasta pakkasmäärästä F2, aina kerran 50 vuodessa toistuvaan pakkasmäärään F50. Rakennusten routasuojauksen mitoittavana pakkasmääränä käytetään todennäköisyyttä F50. Lumen vaikutusta ei oteta huomioon mitoituksessa, koska varmuutta sen pysymisestä rakennuksen ympärillä ei ole. Luonnontilaisissa olosuhteissa lumi luonnollisesti vähentää roudan syvyyttä toimimalla eristekerroksena. [31.]

Maanvaraisen alapohjan lämmöneristyksellä on suora vaikutus rakennuksen routasuojauksen toimivuuteen. Alapohjan kautta johtuva lämpö pitää perusmuurin viereisen ja rakennuksen alla olevan maaperän sulana. Lisättäessä eristettä alapohjaan, tulee vastaavasti routaeristeen määrää rakenteen kylmällä puolella kasvattaa, jotta routa ei pääse tunkeutumaan rakennuksen alle. Perusmuurin viereen asennettavan routaeristeen paksuuden kasvattaminen ei yksistään riitä, vaan myös eristeen etäisyyttä perustuksista on kasvatettava. [31.]



Kuva 24. Lämpövirran vaikutus rakennuksen ympärillä. [32.]

Kuvassa 24 on esitetty periaatepiirros lämpövirran vaikutuksesta maanvaraisessa ja tuuletteussa alapohjarakenteessa. Rakennuksen ympärillä oleva eriste katkaisee roudan tunkeutumisen eikä se näin ollen pääse anturan alle ja aiheuta haitallisia routanousuja. [31.]

Routasuojauksa mitoittaessa täytyy ottaa huomioon alapohjarakenteen lämmönvastus, joka saadaan vaaditun U-arvon käänteisluvusta, joka on määritetty lämmöneristysmääryksien C4 mukaan. Lämmönvastus on sitä suurempi, mitä pienempi U-arvo on kyseessä. Lämmönvastuksen yksikkönä käytetään $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$. Kyseiset arvot on esitetty taulukossa 14 maanvaraisen alapohjarakenteen osalta.

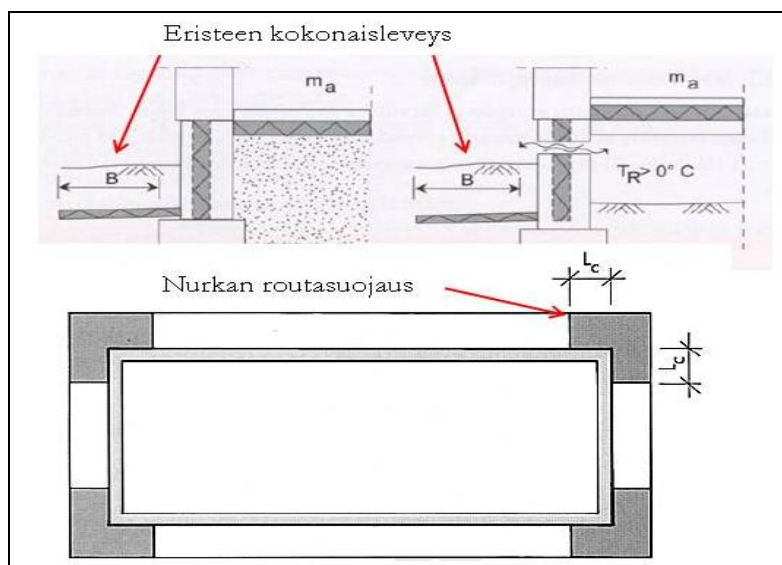
Taulukko 14. Maanvaraisen alapohjan lämmönvastukset. [12.]

Maanvarainen alapohja	Vaadittu U-arvo	Vastaava lämmönvastus
Normitalo 2010	0,16	6,25 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
Matalaenergiatalo M-50	0,12	8,33 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
Passiivitalo P-25	0,1	10 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Normitalo 2010:n osalta maanvaraisen alapohjan U-arvo on 0,16. Tämä tarkoittaa käytännössä 200 mm EPS-eristettä rakennuksen sisäalueella ja 250 mm reunoilla. Vastaava lämmönvastus kyseiselle alapohjalle on $6,25 \text{ m}^2\text{K/W}$. Reuna-alueen lämmönvastus on suurempi johtuen lisäeristyksestä. Talonrakennuksen routasuojausohjeiden 2007 mukaan maanvaraisen alapohjan ulkopuolisen routaeristeen tarvittava lämmönvastus voidaan määrittää suoraan taulukkoarvoilla alapohjan reuna-alueen lämmönvastuksen ja perustussyvyyden avulla. [31.]

Kun tiedetään routaeristeen vaadittu lämmönvastus, pystytään määrittämään tarvittava kerrospaksuus eristeelle sen lämmönjohtavuuden perusteella. EPS-eristeillä tarvittavat kerrospaksuudet ovat noin 70–100 mm ja XPS-eristeillä hieman pienemmät johtuen alhaisemmasta lämmönjohtavuudesta.

Eristyksen leveys ulkoseinälinjasta määräytyy myös alapohjan lämmönvastuksen sekä mitoittavan pakkasmäärän perusteella. Esimerkiksi Kajaanin alueella F50:n mukainen vuotuinen pakkasmäärä on 55 000 Kh. Routaeristeen leveys rakennuksen ulkopuolella on yleensä 1,2–1,5 m, joka mitataan aina anturan ulkoreunasta. On suositeltavaa käyttää 1,5 m:n etäisyyttä, jotta saadaan varmuus siitä, että perustuksien vierustalla oleva maa pysyy riittävän lämpimänä. Eriste tulee asentaa kauttaaltaan samalla kerrosvahvuudella rakennuksen vierustoille. [31.]



Kuva 25. Routaeristys rakennuksen vierustalla ja nurkissa. [32.]

Rakennuksen nurkissa kerrosvahvuutta tulee lisätä 40 %:lla ja etäisyys nurkasta seinälinjaan määräytyy mitoittavan pakkasmäärän perusteella. Käytännössä etäisyys L_c on 1,5–2,0 metriä ja vastaava eristeen lisäys yhden levyn verran. Nurkan routasuojaus on esitetty kuvassa 25.

Tuulettuvassa alapohjarakenteessa routaeristys suunnitellaan ja mitoitetaan samoja periaatteita noudattaen kuin maanvarainen alapohja. Perustussyvyys on kuitenkin suurempi maanvaraiseen alapohjaan verrattuna, koska ryömintätilan korkeuden tulee olla vähintään 800 mm. Tuulettuvassa alapohjarakenteessa lämpövirran vaikutus maaperän lämpötilaan on vähäinen, koska ryömintätilan lämpötila mukaillee ulkoilman lämpötilaa. Tästä syystä routasuojaus on oltava tehokkaampi kuin maanvaraisessa alapohjassa. [31.]

Talvikautena ryömintätilan lämpötila laskee alle 0°C ja näin ollen myös maan lämpötila laskee pakkasen puolelle. Maaperän jäätyminen ryömintätilassa voidaan ehkäistä asentamalla routaeriste perusmuurin sisäpuolelle joko reunalinjalle tai kauttaaltaan koko tuuletustilan alueelle. Reunalinjalle asennettavan eristeen leveys ja vahvuus on sama perusmuurin ulko- ja sisäpuolella.

Matalaenergia- ja passiivitalojen alapohjan eristyspaksuus on niin suuri, että siitä johtuva lämpövirta ei enää riitä pitämään alla olevaa maaperää riittävän lämpimänä. Lämmönvastus kasvaa maanvaraisen alapohjan reuna-alueella yli $10 \text{ m}^2\text{W/K}$, joten routasuojaus tulee mitoittaa kylmien rakenteiden mukaan. Mitoittavana pakkasmääränä käytetään F50:n mukaista alueellista pakkasmäärää. Kajaanin alueella mitoittava arvo on 55 000 Kh. Lisäksi mitoitukseen vaikuttavat vuoden keskilämpötila sekä eristeen alla olevan routimattoman maakerroksen paksuus.

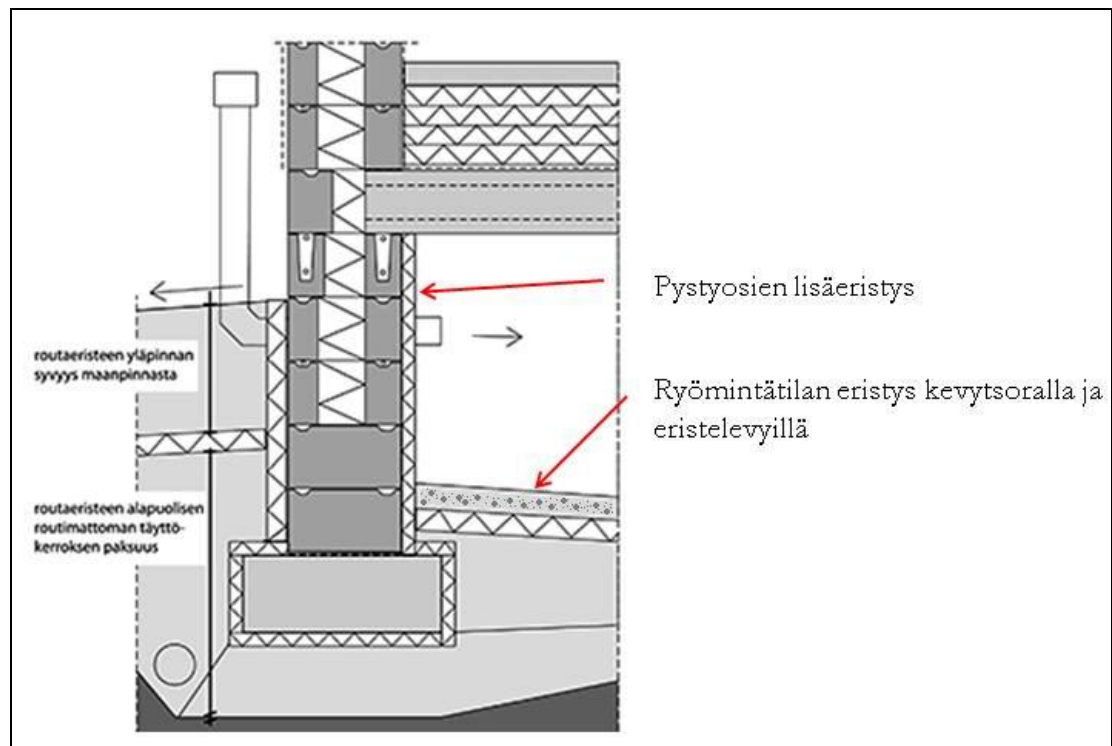
Routaeristeen alla olevalla routimattoman kerroksen paksuudella on merkitystä, koska se määrittää vaadittavan lämmönvastuksen arvon. Eristekerroksen alla tulisi olla vähintään 200 mm routimatonta maa-ainesta. Kylmissä rakenteissa on suositeltavaa asentaa routaeriste myös perustuksien alle, koska näin ollen se ehkäisee tehokkaammin roudan etenemistä lämpöteknisessä mielessä. Asennettaessa routaeristettä anturan alle tulee huomioida perustuksien aiheuttama kuormitus eristelevyyn ja valita tiheydeltään suurempi ja kestävämpi materiaali. Käytännössä on järkevää käyttää kuormitusta kestävästä routaeristettä pelkästään perustuksien alla ja ulkopuolella tavallista eristettä, koska eristevahvuudet ja -leveydet ovat verrattain suuria.

Talonrakennuksen routasuojausohjeiden 2007 mukaan EPS 120 eristettä käytettäessä perustuksien ulkopuolella, voidaan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona käyttää $0,043 \text{ m}^2\text{K/W}$. Vastaava kerrospaksuus kyseiselle eristeelle saadaan suoraan taulukkoarvona, kun tiedetään eristeen alla olevan routimattoman kerroksen paksuus. Routaeristeen kokonaispaksuus on

pohjan olosuhteista riippuen 125–180 mm pyöristettynä lähimpään sopivaan levypaksuuteen. Perustusten alla käytettävien kuormitusta kestävien eristelevyjen vaadittu paksuus on hieman alhaisempi johtuen paremmasta eristyskyvystä.[31.]

Routaeristeen tarvittava leveys rakennuksen ympärillä riippuu mitoittavasta pakkasmäärästä ja eristeen asennussyvyydestä. Esimerkiksi pakkasmäärän ollessa 55 000 Kh ja eristeen syvyys 0,6 m maanpinnasta tulee eristeen leveyden olla 2,0–2,5 metriä anturan ulkoreunasta mitattuna. Routasuojaus tulee asentaa kyseiselle leveydelle koko rakennuksen matkalla. Toisin kuin lämpimien tilojen routasuojauksessa, kylmissä rakenteissa nurkka-alueita ei tarvitse ottaa huomioon eristekerroksen lisäyksenä. [31.]

Eristettäessä matalaenergia- tai passiivitalon tuulettuvaa alapohjarakennetta tulee routaeriste asentaa koko ryömintätilan alueelle, jotta maaperän lämpötila ei laske pakkasrajan alapuolelle. Kerroksen paksuus on mitoituksen mukaan sama ulko- ja sisäpuolella. Eristys voidaan toteuttaa joko kevytsoralla, eristelevyillä tai käyttämällä molempia materiaaleja. Routaeristettä tulee lisätä myös perusmuurin sisäpuolelle pystyrakenteisiin 50–100 mm, jotta rakenteen lämmönvastusta saadaan suuremmaksi. Tuulettuvan alapohjan routasuojaus ja perusmuurin pystyosien lisäeristys on esitetty periaatepiirroksena kuvassa 26.



Kuva 26. Tuulettuvan alapohjan routasuojaus. [17.]

5 POHDINTA

Kiristyneiden lämmöneristysmääräysten myötä talon rakentajia ohjataan kohti energiataloudellisempaa rakentamista. Tämä on hyvä suunta, koska lämmitysenergian hinta on koko ajan nousussa ja sama kehitys jatkuu lähitulevaisuudessa. Eristevahvuudet talon eri rakennusosissa kasvavat 50–100 mm eristetyypistä riippuen. Rakennuskustannuksiin tämän vaikutus on kuitenkin vähäinen ja hinta saadaan nopeasti takaisin alhaisilla lämmityskustannuksilla.

Energiatehokkuus velvoittaa rakentajia kiinnittämään aikaisempaa enemmän huomiota suunnitteluun ja toteutukseen, jotta kohteesta saadaan rakennusteknisesti vaatimusten mukainen. Normitalossa tämä onnistuu periaatteessa kasvattamalla eristekerrosta ja varmistamalla vaipan ilmatiiviys. Mentäessä luokan M-50 alapuolelle tulee suunnitteluun ottaa mukaan valtuutettu yritys varsinkin passiivitalojen kohdalla, jos kohteelle halutaan virallinen hyväksyntä energiataloudellisena rakennuksena. Tämä voi ainakin alkuvaiheessa vähentää urakoitsijoiden kiinnostusta kyseisten talotyyppien toteutukseen, koska niiden toteuttaminen vie normitaloa enemmän aikaa ja resursseja.

Nykyään eri tuotevalmistajat tarjoavat erilaisia rakenneratkaisuja, joilla päästään jo passiivitalon ohjeellisiin vaatimuksiin asti. Eri rakenneosille on runsaasti erilaisia toteutusvaihtoehtoja. Tässä työssä esitetyt rakenteet keskittyvät puurunkoiseen pientaloon ja ovat näin ollen vain eräs esimerkki toteutusperiaatteista.

Energiatehokkaita rakenneratkaisuja on nykyään hyvin saatavilla eri tuotevalmistajien ansiosta. Kuitenkin tarkkoja ohjeita ja detaljikuvia rakenteiden liittymäkohdista on hankalampi saada. Eri tahot ovat kehittäneet omia toimivia ratkaisujaan ja haluavat luonnollisesti säilyttää nämä tiedot itsellään.

Rakennuksen lämmöneristyksessä eräs huomioon otettava seikka ovat ylä- ja alapohjan rakenteet. Massiiviset eristekerrokset aiheuttavat kuormitusta ja eristeet pääsevät painumaan. Alapohjassa tämä voi ilmetä betonilaatan halkeiluna ja epätasaisuuksina, koska laatan paino ei välttämättä tiivistä eristekerrosta riittävästi jo valun yhteydessä. Yläpohjassa puhallettava eriste painuu ja sen eristyskyky heikentyy aikojen saatossa. Myöhemmin lisättävä eriste ei välttämättä poista tätä ongelmaa, koska eriste jatkaa painumistaan kuormituksen lisääntyessä.

Lämmöneristysmääräysten kiristymisen johdosta huomio kääntyy myös rakennuksen routasuojaukseen. Rakennuksen alla olevan maaperän pitäminen riittävän sulana vaatii yhä enemmän lämmöneristettä perusmuurin ympärillä. Lisäksi perusmuurien koko voi kasvaa rungon mukana jopa 400–500 mm:iin asti. Tämä voi johtaa lämmöneristävyyden heikkene- miseen, jos halkaistun rakenteen eristäminen tapahtuu työmaalla. Energiatехokkuudessa myös perusmuurin eristyskyvyllä on suuri rooli ja luulenkin, että tulevaisuudessa myös tälle rakenneosalle asetetaan vaatimuksia U-arvon suhteen.

Rakenteiden massiivisuuden johdosta myös talon ulkonäkö muuttuu. Ulkoseinärakenteen paksuuden ollessa 500 mm ovien ja ikkunoiden liittymäkohdat talon runkoon voivat näyttää erikoisilta, koska ne tulee sijoittaa rungon keskelle. Lisäksi matalaenergia- ja passiivitalon tuu- letettu alapohjarakenne on selvästi ympäröivää maanpintaa ylempänä. Tämä nostaa raken- nuksen korkeutta jopa metrillä maanvaraiseen alapohjaan verrattuna.

Luulen, että tulevaisuudessa SPU-eristeet kasvattavat suosiotaan merkittävästi juuri näiden massiivisten rakenteiden johdosta. Kyseisillä eristeillä kohteesta saadaan enemmän ”normaa- lin” näköinen jopa passiivitalon osalta, koska tarvittavat eristevahvuudet ovat huomattavasti pienemmät. VTT ja muut tahot ovat julkaisseet tutkimuksia kyseisen eristeen kosteustekni- sistä ominaisuuksista ja todenneet tuotteen toimivaksi. Eristetyyppi on kuitenkin verrattain uusi rakennusmateriaali, jonka toimivuudesta uudisrakentamisessa ei vielä ole tarpeeksi käy- tännön kokemuksia. Tämä voi osaltaan hillitä kysyntää ainakin alkuvaiheessa.

Tulevien vuosien aikana matalaenergia- ja passiivitalojen osuus uudisrakentamisessa nousee merkittävästi. Eri eristevalmistajat tarjoavat jo nyt runsaasti tietoa ja valmiita toteutusvai- toehtoja, joilla päästään kyseisten talotyyppien mukaisiin U-arvoihin. Myös lämmöneristeet tulevat kehittymään yhä paremmiksi, jotta haluttuihin vaatimuksiin päästään nykyistä alhai- semmilla eristevahvuuksilla.

6 YHTEENVETO

1.1.2010 voimaan tulleet uudet lämmöneristemääräykset kiristivät eri rakenneosien U-arvoja noin 30 %. Kiristyneet määräykset auttavat alentamaan lämmityskustannuksia, koska rakennuksen lämmöneristys paranee. Nykyiset kulutuslukemat johtumishäviöiden osalta ovat normitalossa 100–120 kWh/brm², matalaenergiatalossa 30–50 kWh/brm² ja passiivitalossa 15–25 kWh/brm².

Lämmöneristeistä riippuen vastaavat eristepaksuudet ovat alapohjassa 200–500 mm, ulkoseinässä 250–450 mm ja yläpohjassa 450–600 mm. SPU-eristeitä käytettäessä päästään haluttuun U-arvoon jo selvästi ohuemmilla eristekerroksilla. Parempi lämmöneristyskyky vähentää eristepaksuutta rakenneosissa 100–200 mm.

Energiatohkeissa rakennuksissa kiinnitetään normitalon lisäksi huomiota vaipan ilmatiiviyteen ja rungon kylmäsiltojen minimoimiseen. Vaipan tiiviys varmistetaan parhaiten asentamalla lisäkoolaus rakenteen lämpimälle puolelle, jolloin alle jäävään höyrynsulkukerrokseen ei tarvitse tehdä niin paljon reikiä esimerkiksi sähköjohdotuksille. Höyrynsulun tulee lisäksi olla yhtenäinen koko vaipan alueella, johon päästään edellä mainitun lisäksi riittävin limityksin ja käyttämällä tarkoitukseen sopivaa tiivistysmassaa.

Kylmäsiltojen vaikutus rakenteissa saadaan poistetuksi lähes kokonaan eri rakenneratkaisuilla ja yksinkertaistamalla rakennuksen muotoa. Peruseriaate on limittää eristekerroksia, jolloin koko eristekerroksesta saadaan yhtenäisempi. I-palkkirunkoisessa talossa myös rungon aiheuttama luonnollinen eristekyvyn heikkeneminen saadaan vähäisemmäksi, koska suhteelliset paksuudet ovat normaalia runkomateriaalia hoikempia.

Paksut eristekerrokset aiheuttavat ala- ja yläpohjassa eristeiden kokoonpuristumista ja näin ollen niiden eristyskyky voi heikentyä aikojen kuluessa. Lisäksi paksu eristekerros voi energiatohkeissa rakennuksissa aiheuttaa sen, että betonilaatan paino ei välttämättä tiivistä eristelevyjä riittävästi jo valun yhteydessä. Tämä voi ilmetä laatan halkeiluna.

Rakennusten routasuojaukseen tulee kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota, koska lämpövirta rakennuksen alle vähenee. Matalaenergia- ja passiivitalon routasuojaus tulee näin ollen suunnitella kylmien rakenteiden mukaan, mikä lisää eristeen määrää ja ulottuvuutta rakennuksen vierustalla.

LÄHTEET

1. VTT. Matalaenergiatalot ja sähkölämmitys. Luettu 23.1.2010. [WWW-dokumentti]
<http://www.sahkolammitysfoorumi.com/VTT-matalaenergiatalo.pdf>
2. VTT. Pientalojen energiatehokkuusluokittelu. Luettu 23.1.2010. [WWW-dokumentti]
<http://passiivitalo.vtt.fi/files/pientalojen%20energiatehokkuusluokittelu.pdf>
3. VTT. Nollaenergiatalo. Luettu 25.1.2010. [WWW-dokumentti]
[http://www.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/131008095229990/\\$File/Nollaenergiatalo_vtt.pdf?OpenElement](http://www.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/131008095229990/$File/Nollaenergiatalo_vtt.pdf?OpenElement)
4. Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma (C3). Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Luettu 30.1.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf
5. Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma (C4). Rakennusten lämmöneristys. Ohjeet 2003. Luettu 30.1.2010. [PDF-dokumentti]
<http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>
6. Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma (D2). Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Luettu 30.1.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.finlex.fi/data/normit/34164-D2-2010_suomi_22-12-2008.pdf
7. Ympäristöministeriö, Suomen rakentamismääräyskokoelma (D3). Rakennuksen energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010. Luettu 30.1.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf

8. Motiva. Energiatehokkaat pientalot. Luettu 1.2.2010. [PDF-dokumentti]

http://www.energiatehokaskoti.fi/midcom-serveattachmentguid-1df0f20d319a49a0f2011dfbf3b5b98e2109fa19fa1/hyva_talo-rakennetaan_energiatehokas_pientalo.pdf

9. Isover. Energian säästäminen. Luettu 1.2.2010. [PDF-dokumentti]

<http://www.isover.fi/download.aspx?intFileID=2989>

10. Paroc. Energiaviisaat rakennukset. Luettu 1.2.2010. [PDF-dokumentti]

<http://www.energiaviisastalo.fi/?cat=Energiaviisaat+rakennukset&id=94>

11. Rakennusten energiatehokkuuden eurooppalaiset standardit. Luettu 3.2.2010. [PDF-dokumentti]

<http://sfs.fi/files/rakennustenenergiatehokkuus.pdf>

12. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Matalaenergiarakentaminen. Helsinki, Sitra 2009. 291 s. ISBN 978-951-758-507-1.

13. Lammin Ikkuna Oy. Tuote-esite. Energialuokitukset. Luettu 3.2.2010. [PDF-dokumentti]

http://www.lammin.fi/document.php?DOC_ID=54&SEC=d5d364112cc4736acc5320ee648ceb57&SID=1#lammin_energia_ikkunakortti.pdf

14. Passiivitalo.fi Oy. Artikkelit passiivitalojen sertifiointista. Luettu 5.2.2010 [PDF-dokumentti]

http://www.passivhus.dk/fi/Passiivitalojen_sertifointi.pdf

15. Paroc. Passiivitalo lupaus, Valkeakoski. Luettu 3.2.2010. [PDF-dokumentti]

http://www.paroc.com/SPPS/Finland/BI_attachments/Passiivitalo_esitykset/PASSIIVITALO%20LUPAUS%2018092008.pdf

16. Paroc. Passiivitalo-konsepti. Tutkimusreferaatti. Luettu 5.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.energiaviisastalo.fi/img/kuvapankki/file/passiivitalo_referaatti_fi_lores.pdf
17. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohjekortti RT 81–10854. Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät.
18. Ympäristöministeriö. Matalaenergiarakenteiden toimivuus. Tampereen teknillinen yliopisto. Luotu 3.11.2008. [PDF-dokumentti]
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=94366&lan=FI>
19. Parma Oy. Ontelolaattojen suunnitteluohjeet. Luotu 1.10.2003. [PDF-dokumentti]
<http://www.parma.fi/fi/Ammattirakentajalle/Suunnittelu/>
20. Ympäristöministeriö. Lausunto rakenteiden energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. VTT. Luotu 28.11.2008. [PDF-dokumentti]
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96145&lan=FI>
21. PRT-Lami Oy. I-palkkirakenteiden suunnittelu. Luettu 15.2.2010. [PDF-dokumentti]
<http://www.prtlami.fi/files/suunn.opas05.pdf>
22. Termex-eriste Oy. Termex-Zero, passiivitalon seinärakenne. Luettu 15.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.termex.fi/images/news_large/2_@_9457_@_termex_zero_www_seina_rakenne.pdf
23. SPU-Systems Oy. Matalaenergiarakentaminen. Artikkelit matalaenergia- ja passiivirakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta. Luettu 16.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.spu.fi/files/spu/pdf/kosteusteknisesti_turvallinen_matalaenergia-ja_passiivirakentaminen.pdf

24. Paroc. Rakenteiden leikkauskuvia. Luettu 20.2.2010. [PDF-dokumentti]
<http://www.paroc.fi/channels/fi/building+insulation/cad+designs/default.asp>
25. Ekovilla. Rakennekuvat. Luettu 21.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.ekovilla.com/gfx/pdf/rakenteet/rakenneopas/ekovilla_rakenneopas_00_koko_opas.pdf
26. Paroc. Pientaloeristeet. Rakennratkaisut. Luettu 21.2.2010. [WWW-dokumentti]
<http://www.paroc.fi/channels/fi/do-it-yourself/default.asp>
27. SPU-Systems. Artikkelit yläpohjaeristeistä uudisrakentamisessa. Luettu 25.2.2010. [WWW-dokumentti]
http://www.spu.fi/uudisrakentaminen_ylapohja
28. SPU-Systems. Matalaenergiarakentaminen. SPU-eristeiden U-arvot ja paksuudet. Luettu 26.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.spu.fi/files/spu/muut/U-arvot_uudis_090702.pdf
29. SPU-Systems. Suunnittelijan sivut. Detaljikirjasto. Luettu 26.2.2010. [PDF-dokumentti]
http://www.spu.fi/eristeet_rakennekuva?id=11173330
30. Isover. Multi-Comfort. Passiivitalorakenteita. Luettu 28.2.2010. [WWW-dokumentti]
<http://www.isover.fi/multicomfort/>
31. Rakennustieto. Talonrakennuksen routasuojausohjeet 2007 . Tampere: Tammer-Paino Oy, 2007. 96 s. ISBN 978-951-682-851-3.
32. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ohjekortti RT 81-10590. Routasuojusrakenteet 1995.

